



日 本 国 特 許 庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年12月22日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-390545

出 願 人

Applicant (s):

シャープ株式会社

2001年 2月 2日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造

出証番号 出証特2001-3003768

【書類名】 特許願  
【整理番号】 1002041  
【提出日】 平成12年12月22日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G01B 11/06  
G02F 1/133  
G02F 1/1335 510  
G02F 1/1335 520

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

【氏名】 土肥 敦之

【特許出願人】

【識別番号】 000005049

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号

【氏名又は名称】 シャープ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100064746

【弁理士】

【氏名又は名称】 深見 久郎

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2000- 22219

【出願日】 平成12年 1月31日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008693

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】            要約書    1

【包括委任状番号】    9106002

【プルーフの要否】    要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 液晶層の厚み測定方法および厚み測定装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 上下面を配向処理され、厚み方向に一様な複屈折率  $\Delta n$  を有する液晶層を一对の基板の間に備え、前記基板のうち一方の少なくとも一部に反射領域を有する反射型液晶表示素子において、前記液晶層の厚み  $d$  を測定する方法であって、

光源からの光を第 1 偏光手段を介して前記液晶層に入射させ、前記反射領域で反射することによって前記液晶層から出射した反射光を、第 2 偏光手段を介して受光手段によって受光する受光工程と、

前記受光手段によって受光した反射光をスペクトル分解して波長  $\lambda$  と反射光強度との関係を検出する分光工程と、

前記反射光が、前記入射の際の偏光面と同じ偏光面を維持して戻ってくる条件、すなわち、前記反射光のうちの常光線と異常光線との光路長差が、波長の整数倍と半波長との和、または、波長の整数倍であるという偏光面維持条件を満たす波長を求める偏光面維持波長導出工程と、

前記偏光面維持波長導出工程によって求められた波長および前記液晶層の既知のツイスト角から、妥当な  $\Delta n \cdot d$  を求め、波長および  $\Delta n \cdot d$  の複数の組合せから、波長と  $\Delta n \cdot d$  との関係を求める  $\Delta n \cdot d$  導出工程と、

波長  $\lambda$  と  $\Delta n$  との既知の組合せをこの関係にあてはめて  $d$  を求める厚み導出工程とを含む、厚み測定方法。

【請求項 2】 前記偏光面維持波長導出工程は、前記反射光強度が極値となる波長の値を求めることによって行なう、請求項 1 に記載の厚み測定方法。

【請求項 3】 前記  $\Delta n \cdot d$  導出工程において、ジョーンズ行列を用いる、請求項 1 または 2 に記載の厚み測定方法。

【請求項 4】 前記ジョーンズ行列の使用は、前記液晶層のツイスト角を  $\Theta$  とし、

$$\alpha = \Delta n \cdot d \pi / \Theta \lambda \cdots \cdots (\text{式 1}) \text{ とし、}$$

$$\beta = \Theta \sqrt{1 + \alpha^2} \cdots \cdots (\text{式 2}) \text{ とした場合に、}$$

$\beta/\pi$  が  $n$  または  $n+1/2$  ( $n$  は整数) となるときに、反射光の偏光面が維持される場合の波長  $\lambda$  と、既知の前記ツイスト角  $\Theta$  と、(式 1) と、(式 2) とから、現実的に妥当な  $\beta/\pi$  の値を求め、得られた  $\beta/\pi$  の値から波長  $\lambda$  と  $\Delta n \cdot d$  との関係を求めることである、請求項 3 に記載の厚み測定方法。

【請求項 5】 前記第 1 偏光手段の透過軸と前記第 2 偏光手段の透過軸とが直交する、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の厚み測定方法。

【請求項 6】 前記第 1 偏光手段の透過軸と前記第 2 偏光手段の透過軸とが平行である、請求項 1 から 4 のいずれかに記載の厚み測定方法。

【請求項 7】 前記第 1 偏光手段の透過軸と、前記液晶層の前記光が入射する基板に接する面における配向の向きとのなす角を  $\phi$  とした場合、 $0^\circ$  から  $90^\circ$  の範囲内で複数の  $\phi$  について、前記受光工程、前記分光工程および前記偏光面維持波長導出工程を行なう、請求項 1 から 6 のいずれかに記載の厚み測定方法。

【請求項 8】 前記  $\Delta n \cdot d$  導出工程において、コーシーの分散式を用いる、請求項 1 から 7 のいずれかに記載の厚み測定方法。

【請求項 9】 前記反射領域が拡散性を有し、前記受光手段による受光を前記入射に対応する正反射方向からはずれた位置で行なう、請求項 1 から 8 のいずれかに記載の厚み測定方法。

【請求項 10】 光源と、  
前記光源からの光を透過させる第 1 偏光手段と、  
測定対象で反射した反射光を透過する第 2 偏光手段と、  
前記第 2 偏光手段を透過した前記反射光を受光する受光手段と、  
前記受光手段によって受光した反射光をスペクトル分解して波長  $\lambda$  と反射光強度との関係を検出する分光手段と、

前記反射光が、前記入射の際の偏光面と同じ偏光面を維持して戻ってくる条件、すなわち、前記反射光のうちの常光線と異常光線との光路長差が、波長の整数倍と半波長との和、または、波長の整数倍であるという偏光面維持条件を満たす波長を求める偏光面維持波長導出手段と、

前記偏光面維持波長導出手段によって求められた波長および前記液晶層の既知のツイスト角から、波長と  $\Delta n \cdot d$  との関係を求める  $\Delta n \cdot d$  導出手段と、

波長 $\lambda$ と $\Delta n$ との既知の組合せをこの関係にあてはめて $d$ を求める厚み導出手段とを備える、厚み測定装置。

【請求項 1 1】 前記偏光面維持波長導出手段は、前記反射光強度が極値となる波長の値を求めることによって行なう、請求項 1 0 に記載の厚み測定装置。

【請求項 1 2】 前記 $\Delta n \cdot d$ 導出手段において、ジョーンズ行列を用いる、請求項 1 0 または 1 1 に記載の厚み測定装置。

【請求項 1 3】 前記ジョーンズ行列の使用は、前記液晶層のツイスト角を $\Theta$ とし、

$$\alpha = \Delta n \cdot d \pi / \Theta \lambda \cdots \cdots (\text{式 } 1) \text{ とし、}$$

$$\beta = \Theta \sqrt{(1 + \alpha^2)} \cdots \cdots (\text{式 } 2) \text{ とした場合に、}$$

$\beta / \pi$ が $n$ または $n + 1 / 2$  ( $n$ は整数)となるとときに、反射光の偏光面が維持される場合の波長 $\lambda$ と、既知の前記ツイスト角 $\Theta$ と、(式 1)と、(式 2)とから、現実的に妥当な $\beta / \pi$ の値を求め、得られた $\beta / \pi$ の値から波長 $\lambda$ と $\Delta n \cdot d$ との関係を求めることである、請求項 1 2 に記載の厚み測定装置。

【請求項 1 4】 前記第 1 偏光手段の透過軸と前記第 2 偏光手段の透過軸とが直交する、請求項 1 0 から 1 3 のいずれかに記載の厚み測定装置。

【請求項 1 5】 前記第 1 偏光手段の透過軸と前記第 2 偏光手段の透過軸とが平行である、請求項 1 0 から 1 3 のいずれかに記載の厚み測定装置。

【請求項 1 6】 前記第 1 偏光手段の透過軸と、前記液晶層の前記光が入射する基板に接する面における配向の向きとのなす角を $\phi$ とした場合、 $0^\circ$  から  $90^\circ$  の範囲内で複数の $\phi$ について、前記受光手段、前記分光手段および前記偏光面維持波長導出手段を用いる、請求項 1 0 から 1 5 のいずれかに記載の厚み測定装置。

【請求項 1 7】 前記 $\Delta n \cdot d$ 導出手段において、コーシーの分散式を用いる、請求項 1 0 から 1 6 のいずれかに記載の厚み測定装置。

【請求項 1 8】 前記反射領域が拡散性を有し、前記受光手段による受光を前記入射に対応する正反射方向からはずれた位置で行なう、請求項 1 0 から 1 7 のいずれかに記載の厚み測定装置。

【請求項 1 9】 上下面を配向処理され、厚み方向に一様な複屈折率 $\Delta n$ を

有する液晶層を一对の基板の間に備え、前記基板のうち一方の少なくとも一部に反射領域を有する反射型液晶表示素子において、前記液晶層の厚み  $d$  を測定する方法であって、

液晶の複屈折率  $\Delta n$  が既知である波長の単色光源からの光を第 1 偏光手段を介して前記液晶層に入射させ、前記反射領域で反射することによって前記液晶層から出射した反射光を、第 2 偏光手段を介して受光手段によって受光する受光工程と、

前記受光工程と連動して前記第 1 偏光手段および前記第 2 偏光手段の透過軸同士の間角度を一定に保ったまま、上方から見て前記第 1 偏光手段および前記第 2 偏光手段が前記液晶層に対してなす角度である回転角を変化させながら受光する回転受光工程と、

前記反射光が、前記入射の際の偏光面と同じ偏光面を維持して戻ってくる条件、すなわち、前記反射光のうちの常光線と異常光線との光路長差が、波長の整数倍と半波長との和、または、波長の整数倍であるという偏光面維持条件を満たす前記回転角を求める偏光面維持角度導出工程と、

前記偏光面維持角度導出工程によって求められた角度および前記液晶層の既知のツイスト角から、所望の波長と  $\Delta n \cdot d$  との関係を導き、その中から選ばれる妥当な  $\Delta n \cdot d$  から  $d$  を求める厚み導出工程とを含む、厚み測定方法。

【請求項 20】 前記偏光面維持角度導出工程は、前記反射光強度が極値となる前記回転角の値を求めることによって行なう、請求項 19 に記載の厚み測定方法。

【請求項 21】 前記厚み導出工程において  $\Delta n \cdot d$  を求めるためにジョーンズ行列を用いる、請求項 19 または 20 に記載の厚み測定方法。

【請求項 22】 前記厚み導出工程における前記ジョーンズ行列の使用は、前記第 1 偏光手段の透過軸と前記液晶層の入射側表面における配向の向きとのなす角度を  $\phi$  とし、

前記液晶層のツイスト角を  $\Theta$  とした場合に、

前記反射光の偏光面が維持される場合の角度  $\phi$  と、既知の前記ツイスト角  $\Theta$  とから現実的に妥当な  $\Delta n \cdot d / \lambda$  の値を求め、得られた  $\Delta n \cdot d / \lambda$  の値から波

長さにおける  $\Delta n \cdot d$  を求めることである、請求項 2 1 に記載の厚み測定方法。

【請求項 2 3】 前記第 1 偏光手段の透過軸と前記第 2 偏光手段の透過軸とが直交する、請求項 1 9 から 2 2 のいずれかに記載の厚み測定方法。

【請求項 2 4】 前記第 1 偏光手段の透過軸と前記第 2 偏光手段の透過軸とが平行である、請求項 1 9 から 2 2 のいずれかに記載の厚み測定方法。

【請求項 2 5】 前記反射領域が拡散性を有し、前記受光手段による受光を前記入射に対応する正反射方向からはずれた位置で行なう、請求項 1 9 から 2 4 のいずれかに記載の厚み測定方法。

【請求項 2 6】 単色光源と、  
前記単色光源からの光を透過させる第 1 偏光手段と、  
測定対象で反射した反射光を透過する第 2 偏光手段と、  
前記第 2 偏光手段を透過した前記反射光を受光する受光手段と、  
前記受光手段と連動して前記第 1 偏光手段および前記第 2 偏光手段の透過軸同士の間角度を一定に保ったまま、上方から見て前記第 1 偏光手段および前記第 2 偏光手段が前記液晶層に対してなす角度である回転角を変化させながら受光する回転受光手段と、

前記反射光が、前記入射の際の偏光面と同じ偏光面を維持して戻ってくる条件、すなわち、前記反射光のうちの常光線と異常光線との光路長差が、波長の整数倍と半波長との和、または、波長の整数倍であるという偏光面維持条件を満たす前記回転角を求める偏光面維持角度導出手段とを備える、角度導出装置。

【請求項 2 7】 単色光源と、  
前記単色光源からの光を透過させる第 1 偏光手段と、  
測定対象で反射した反射光を透過する第 2 偏光手段と、  
前記第 2 偏光手段を透過した前記反射光を受光する受光手段と、  
前記受光手段と連動して前記第 1 偏光手段および前記第 2 偏光手段の透過軸同士の間角度を一定に保ったまま、上方から見て前記第 1 偏光手段および前記第 2 偏光手段が前記液晶層に対してなす角度である回転角を変化させながら受光する回転受光手段と、

前記反射光が、前記入射の際の偏光面と同じ偏光面を維持して戻ってくる条件



、すなわち、前記反射光のうちの常光線と異常光線との光路長差が、波長の整数倍と半波長との和、または、波長の整数倍であるという偏光面維持条件を満たす前記回転角を求める偏光面維持角度導出手段と、

前記偏光面維持角度導出手段によって求められた角度から、波長 $\lambda$ と $\Delta n \cdot d$ との関係を求める、 $\Delta n \cdot d$ 導出手段と、

波長 $\lambda$ と既知の $\Delta n$ とを用いて $d$ を求める厚み導出手段とを備える、厚み測定装置。

【請求項 28】 前記偏光面維持角度導出手段は、前記反射光強度が極値となる前記回転角の値を求めることによって行なうためのものである、請求項 27 に記載の厚み測定装置。

【請求項 29】 前記 $\Delta n \cdot d$ 導出手段は、ジョーンズ行列を用いる、請求項 27 または 28 に記載の厚み測定装置。

【請求項 30】 前記 $\Delta n \cdot d$ 導出手段における前記ジョーンズ行列の使用は、

前記第 1 偏光手段の透過軸と前記液晶層の入射側表面における配向の向きとのなす角度を $\phi$ とし、

前記液晶層のツイスト角を $\Theta$ とした場合に、

前記反射光の偏光面が維持される場合の角度 $\phi$ と、既知の前記ツイスト角 $\Theta$ とから現実的に妥当な $\Delta n \cdot d / \lambda$ の値を求め、得られた $\Delta n \cdot d / \lambda$ の値から波長 $\lambda$ における $\Delta n \cdot d$ を求めることである、請求項 29 に記載の厚み測定装置。

【請求項 31】 前記第 1 偏光手段の透過軸と前記第 2 偏光手段の透過軸とが直交する、請求項 27 から 30 のいずれかに記載の厚み測定装置。

【請求項 32】 前記第 1 偏光手段の透過軸と前記第 2 偏光手段の透過軸とが平行である、請求項 27 から 30 のいずれかに記載の厚み測定装置。

【請求項 33】 前記反射領域が拡散性を有し、前記受光手段による受光を前記入射に対応する正反射方向からはずれた位置で行なう、請求項 27 から 32 のいずれかに記載の厚み測定装置。

【請求項 34】 光源と、

前記光源からの光を透過させる第 1 偏光手段と、

測定対象で反射した反射光を透過する第 2 偏光手段と、  
前記第 2 偏光手段を透過した前記反射光を受光する受光手段と、  
前記受光手段によって受光した反射光をスペクトル分解して波長 $\lambda$ と反射光強度との関係を検出する分光手段と、  
前記反射光が、前記入射の際の偏光面と同じ偏光面を維持して戻ってくる条件、すなわち、前記反射光のうちの常光線と異常光線との光路長差が、波長の整数倍と半波長との和、または、波長の整数倍であるという偏光面維持条件を満たす波長を求める偏光面維持波長導出手段とを備える、波長導出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、液晶表示素子に含まれる配向処理された液晶層などのように、厚み方向に均質な複屈折率 $\Delta n$ を有する複屈折体の厚みを求める測定方法およびそのための装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

液晶表示素子は、消費電力が小さく、小型、軽量であるため、ディスプレイとしての使用範囲は、非常に多岐に渡っている。そういった液晶表示素子の中でも、近年、反射型のカラーのものが実用化されつつあり、急速に需要が拡大している。

【0003】

ここで、反射型カラー液晶ディスプレイ、従来の反射型液晶ディスプレイおよび従来の透過型液晶ディスプレイのそれぞれの特徴について説明する。従来の透過型液晶ディスプレイ 111 は、図 20 に示すように一対の透明の基板 12 で構成される液晶セル 100 の外側を偏光板 14 または楕円偏光板で挟みこんだものである。液晶層 11 に加える電圧によって、液晶分子の配列が変わり、液晶層を透過する光の偏光状態が制御される。偏光状態を制御された光が出射側の偏光板 14 を透過することで、偏光状態に応じた明暗の差が生じ、その結果、所望の表示を得ることができる。また、従来の反射型液晶ディスプレイ 112 も、図 21

に示すように、基本的には透過型と同じ液晶セル 1 0 0 を使い、裏側の偏光板 1 4 のさらに外側に反射板 1 5 を貼り付けて表示を行なっている。

【 0 0 0 4 】

しかし、近年の画素の精細化に伴って、従来の反射型液晶ディスプレイ 1 1 2 において表示を行なうには、従来の外側に反射板 1 5 を貼り付ける方式では、反射板 1 5 と液晶層 1 1 との間にある基板 1 2 および偏光板 1 4 の厚みにより生ずる視差により、像が 2 重化するという問題が生じていた。特にカラー表示の場合、像の 2 重化は混色を引き起こし、表示品位が著しく低下する。また、マイクロカラーフィルタを用いて、カラー表示を行なう場合、斜めから入った光が往路と復路で違う色のカラーフィルタを通ることにより彩度が低下して色再現性が大きく損なわれる。

【 0 0 0 5 】

この問題を解決する方法として、図 2 2 に示すように、反射板 1 5 を液晶セル 1 0 1 内に配置する構成が提案されている。この構成を採用することで視差による像の 2 重化と色再現性の低下を抑えられるため、反射型カラー液晶ディスプレイ 1 1 3 は液晶セル 1 0 1 内に反射板を配置した構成が主流となっている。反射型カラー液晶ディスプレイ 1 1 3 は、光が液晶セル 1 0 1 内の反射板 1 5 により反射するという点で、液晶セル 1 0 0 を透過した光が液晶セルから完全に出射した後に反射する従来の反射型液晶ディスプレイ 1 1 2 と異なる。

【 0 0 0 6 】

また、反射型液晶ディスプレイ 1 1 2, 1 1 3 は、同じ液晶層 1 1 を光が 2 回通るため、透過型液晶ディスプレイの場合に比べて液晶の液晶層 1 1 の厚みが表示品位に与える影響は大きい。複屈折性を有する部材が、これに入射した光の偏光状態に与える変化の大きさは、その複屈折率（「屈折率異方性」ともいう。）と部材の厚みに比例するからである。

【 0 0 0 7 】

よって、液晶層 1 1 の厚み、すなわち、いわゆる「セルギャップ」を測定し、厚みや均一性を管理することは反射型カラー液晶ディスプレイの表示品位を保つ上で従来の透過型液晶ディスプレイの場合以上に重要な意味を持つ。

## 【0008】

液晶層の厚み（以下、「セルギャップ」という。）を測定する従来技術としては、特開平4-307312号公報に開示された測定方法（以下、「従来方法1」という。）がある。従来方法1では、液晶セルの入射光側の配向方向から+45°回転させた方向の偏光子を介して光を液晶セルに入射させる。さらに液晶セルを透過した出射光に対して、液晶セルの出射光側の配向方向より+45°回転させた方向の偏光子を介して出射光強度を測定する。測定した出射光強度が極大値もしくは極小値をとる波長の値から演算をしてセルギャップを求めている。従来方法1では、極大強度の条件として、

$$\Delta n \cdot d = \lambda_0 \cdot (m_0^2 - \Theta^2 / \pi^2)^{1/2}$$

を用い、極小強度の条件としては、

$$\Delta n \cdot d = \lambda_0 \cdot ((m_0 - 1/2)^2 - \Theta^2 / \pi^2)^{1/2}$$

を用いて演算を行なっている。なお、変数の内容は以下の通りである。

## 【0009】

$\Delta n$ ：複屈折率（ $\Delta n =$ 異常屈折率 $n_e$ －正常屈折率 $n_o$ ）

$\lambda_0$ ：極大または極小となる波長

$m_0$ ：次数

$\Theta$ ：液晶層のツイスト角

反射光を利用してセルギャップを測定する従来技術としては、特開平10-232113号公報に開示された測定方法（以下、「従来方法2」という。）がある。従来方法2では、水銀ランプ光を基板に投射して、上下基板の内面に形成されている液晶配向用の配向膜を蛍光励起し、その発光をレンズによりCCD（Charge-Coupled Device：電荷結合素子）上に結像させて、その像の間隔から上下基板の配向膜の間隔を算出することによりセルギャップを計測している。

## 【0010】

## 【発明が解決しようとする課題】

従来方法1で用いられる、出射光強度が極大・極小となる場合の条件式は、あくまで、透過型の液晶セルに用いるための式である。すなわち入射した光は液晶層を1回通過するのみであってその間に偏光作用を受けることを前提としている

。これに対して反射型の液晶セルにおいては、液晶層を通過して偏光作用を受けた光が反射板で反射され、再び液晶層を通過してさらに偏光作用を受けてから出射する。したがって、従来方法 1 における演算を反射型の液晶セルにはそのまま適用できない。

【 0 0 1 1 】

また、反射型カラー液晶ディスプレイの中には、反射板のうち、表示に用いない部分、たとえば、電極間の隙間などに対応する部分をエッチングなどにより除去する場合がある。この場合は、反射層を除去した部分から漏れ出る透過光を利用して従来方法 1 によってセルギャップの測定が一応可能であるかのように見受けられる。しかし、反射板をエッチングすることによりエッチングした部分とそうでない部分との間に液晶層に段差が生じて、表示に用いる画素の部分と値が異なることもある。したがって、やはり画素の部分のセルギャップを測定できるようにする必要がある。よって、透過光でなく反射光を用いてセルギャップを測定できるようにする必要がある。

【 0 0 1 2 】

一方、反射光を利用してセルギャップを測定する従来方法 2 は、特開平 1 0 - 2 3 2 1 1 3 号公報において特に液晶が未注入の状態の液晶セルを測定対象とする旨述べられている。従来方法 2 は、液晶セル内に液晶がない状態を前提として、配向剤から発生する蛍光を CCD センサに結像するものであるもので、液晶が注入された後のセルギャップは測定できない。

【 0 0 1 3 】

しかし、液晶注入後のセルギャップは、注入時の温度、注入完了後の放置時間、液晶の粘度、基板間隙に配置するスペーサの散布量やその粒径によって大きく変化する。したがって、未注入の状態の液晶セルについてのセルギャップ測定だけでは、液晶セルの十分な品質管理を行うことができない。液晶セルの品質管理を行なうには、液晶注入後のセルギャップを管理することが本来望ましい。

【 0 0 1 4 】

そこで、本発明の目的は、透過光でなく反射光を用いて、配向処理された液晶層などのように、厚み方向に均質な複屈折率  $\Delta n$  を有する複屈折体の厚みを測定

できる方法および装置を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明に基づく厚み測定方法の一つの局面では、上下面を配向処理され、厚み方向に一樣な複屈折率 $\Delta n$ を有する液晶層を一对の基板の間に備え、上記基板のうち一方の少なくとも一部に反射領域を有する反射型液晶表示素子において、上記液晶層の厚み $d$ を測定する方法であって、光源からの光を第1偏光手段を介して上記液晶層に入射させ、上記反射領域で反射することによって上記液晶層から出射した反射光を、第2偏光手段を介して受光手段によって受光する受光工程と、上記受光手段によって受光した反射光をスペクトル分解して波長 $\lambda$ と反射光強度との関係を検出する分光工程と、上記反射光が、上記入射の際の偏光面と同じ偏光面を維持して戻ってくる条件、すなわち、上記反射光のうちの常光線と異常光線との光路長差が、波長の整数倍と半波長との和、または、波長の整数倍であるという偏光面維持条件を満たす波長を求める偏光面維持波長導出工程と、上記偏光面維持波長導出工程によって求められた波長および前記液晶層の既知のツイスト角から、妥当な $\Delta n \cdot d$ を求め、波長および $\Delta n \cdot d$ の複数の組合せから、波長と $\Delta n \cdot d$ との関係を求める $\Delta n \cdot d$ 導出工程と、波長 $\lambda$ と $\Delta n$ との既知の組合せをこの関係にあてはめて $d$ を求める厚み導出工程とを含む、厚み測定方法である。

【0016】

上記工程を採用することにより、透過光ではなく反射光を利用するため、透過光の有無を問わず、反射型の液晶セルについても精度よく測定を行なうことができる。また、偏光状態の変化を検出するものであって、反射光が結像することなどを条件としないため、反射領域が鏡面状であるか拡散性を有するかを問わず、厚み測定を行なうことができる。

【0017】

上記発明において好ましくは、上記偏光面維持波長導出工程は、上記反射光強度が極値となる波長の値を求めることによって行なう。この工程を採用することにより、スペクトルから容易に偏光面維持条件を満たす波長を求めることができ

、測定を容易に行なうことができる。

【 0 0 1 8 】

上記発明においてさらに好ましくは、上記  $\Delta n \cdot d$  導出工程において、ジョーンズ行列を用いる。この工程を採用することにより、機械的な計算をあてはめるのみで、偏光状態の変化を表現することができ、厚み  $d$  を求める演算を簡潔にすることができる。

【 0 0 1 9 】

上記発明においてさらに好ましくは、上記ジョーンズ行列の使用は、上記液晶層のツイスト角を  $\Theta$  とし、 $\alpha = \Delta n \cdot d \pi / \Theta \lambda \dots\dots$  (式 1) とし、 $\beta = \Theta \sqrt{1 + \alpha^2} \dots\dots$  (式 2) とした場合に、 $\beta / \pi$  が  $n$  または  $n + 1 / 2$  ( $n$  は整数) となるときに、反射光の偏光面が維持される場合の波長  $\lambda$  と、既知の前記ツイスト角  $\Theta$  と、(式 1) と、(式 2) とから、現実的に妥当な  $\beta / \pi$  の値を求め、得られた  $\beta / \pi$  の値から波長  $\lambda$  と  $\Delta n \cdot d$  との関係を求めることである。

【 0 0 2 0 】

上記工程を採用することにより、非現実的な  $\beta / \pi$  の値は排除されるので、最も妥当な波長と  $\Delta n \cdot d$  との関係を表す近似式を求めることができる。

【 0 0 2 1 】

上記発明において好ましくは、上記第 1 偏光手段の透過軸と上記第 2 偏光手段の透過軸とが直交する。この工程を採用することにより、偏光面維持条件を満たす波長においては、出射光のスペクトルが極小値 0 となり、見つけやすくなる。

【 0 0 2 2 】

上記発明において好ましくは、上記第 1 偏光手段の透過軸と上記第 2 偏光手段の透過軸とが平行である。この工程を採用することにより、偏光面維持条件を満たす波長においては、出射光のスペクトルが極大値となり、見つけやすくなる。

【 0 0 2 3 】

上記発明において好ましくは、上記第 1 偏光手段の透過軸と、上記液晶層の上記光が入射する基板に接する面における配向の向きとのなす角を  $\phi$  とした場合、 $0^\circ$  から  $90^\circ$  の範囲内で複数の  $\phi$  について、上記受光工程、上記分光工程および上記偏光面維持波長導出工程を行なう。この工程を採用することにより、複数

の $\phi$ によって、複数の波長 $\lambda$ について $\beta/\pi$ の値を求めることができるので、精度よく測定を行なうことができる。

## 【 0 0 2 4 】

上記発明において好ましくは、上記 $\Delta n \cdot d$ 導出工程において、コーシーの分散式を用いる。この工程を採用することにより、1つの $\phi$ についての測定のみでも、波長 $\lambda$ と $\Delta n \cdot d$ との近似式を求めることができ、簡便な厚み測定を行なうことができる。

## 【 0 0 2 5 】

上記発明の他の局面においては、上記反射領域が拡散性を有し、上記受光手段による受光を上記入射に対応する正反射方向からはずれた位置で行なう。この工程を採用することにより、上側基板による正反射の成分を除外することができるので、拡散性を有する反射板を用いた反射型液晶セルに対しても、上側基板による正反射成分によって影響を及ぼされることなく、厚み測定を行なうことができる。

## 【 0 0 2 6 】

本発明に基づく厚み測定装置の一つの局面においては、光源と、上記光源からの光を透過させる第1偏光手段と、測定対象で反射した反射光を透過する第2偏光手段と、上記第2偏光手段を透過した上記反射光を受光する受光手段と、上記受光手段によって受光した反射光をスペクトル分解して波長 $\lambda$ と反射光強度との関係を検出する分光手段と、上記反射光が、上記入射の際の偏光面と同じ偏光面を維持して戻ってくる条件、すなわち、上記反射光のうちの常光線と異常光線との光路長差が、波長の整数倍と半波長との和、または、波長の整数倍であるという偏光面維持条件を満たす波長を求める偏光面維持波長導出手段と、上記偏光面維持波長導出手段によって求められた波長および前記液晶層の既知のツイスト角から、波長と $\Delta n \cdot d$ との関係を求める $\Delta n \cdot d$ 導出手段と、波長 $\lambda$ と $\Delta n$ との既知の組合せをこの関係にあてはめて $d$ を求める厚み導出手段とを備える。

## 【 0 0 2 7 】

上記構成を採用することにより、透過光ではなく反射光のみを利用するため、反射型の液晶セルについても精度よく測定を行なうことができる。また、偏光状



態の変化を検出するため、反射領域が鏡面状であるか拡散性を有するかを問わず、厚み測定を行なうことができる。

## 【 0 0 2 8 】

上記発明において好ましくは、上記偏光面維持波長導出手段は、上記反射光強度が極値となる波長の値を求めることによって行なう。この構成を採用することにより、スペクトルから容易に偏光面維持条件を満たす波長を求めることができ、測定を容易に行なうことができる。

## 【 0 0 2 9 】

上記発明においてさらに好ましくは、上記  $\Delta n \cdot d$  導出手段において、ジョーンズ行列を用いる。この構成を採用することにより、機械的な計算をあてはめるのみで、偏光状態の変化を表現することができ、厚み  $d$  を求める演算を簡潔にすることができる。

## 【 0 0 3 0 】

上記発明においてさらに好ましくは、上記ジョーンズ行列の使用は、上記液晶層のツイスト角を  $\Theta$  とし、 $\alpha = \Delta n \cdot d \pi / \Theta \lambda \dots\dots$  (式 1) とし、 $\beta = \Theta \sqrt{1 + \alpha^2} \dots\dots$  (式 2) とした場合に、 $\beta / \pi$  が  $n$  または  $n + 1 / 2$  ( $n$  は整数) となるときに、反射光の偏光面が維持される場合の波長  $\lambda$  と、既知の前記ツイスト角  $\Theta$  と、(式 1) と、(式 2) とから、現実的に妥当な  $\beta / \pi$  の値を求め、得られた  $\beta / \pi$  の値から波長と  $\Delta n \cdot d$  との関係を求めることである。

## 【 0 0 3 1 】

上記構成を採用することにより、非現実的な  $\beta / \pi$  の値は排除されるので、最も妥当な波長と  $\Delta n \cdot d$  との関係を表す近似式を求めることができる。

## 【 0 0 3 2 】

上記発明において好ましくは、上記第 1 偏光手段の透過軸と上記第 2 偏光手段の透過軸とが直交する。この構成を採用することにより、偏光面維持条件を満たす波長においては、出射光のスペクトルが極小値 0 となり、見つけやすくなる。

## 【 0 0 3 3 】

上記発明において好ましくは、上記第 1 偏光手段の透過軸と上記第 2 偏光手段の透過軸とが平行である。この構成を採用することにより、偏光面維持条件を満

たす波長においては、出射光のスペクトルが極大値となり、見つけやすくなる。

【0034】

上記発明において好ましくは、上記第1偏光手段の透過軸と、上記液晶層の上記光が入射する基板に接する面における配向の向きとのなす角を $\phi$ とした場合、 $0^\circ$  から  $90^\circ$  の範囲内で複数の $\phi$ について、上記受光手段、上記分光手段および上記偏光面維持波長導出手段を用いる。この構成を採用することにより、複数の $\phi$ によって、複数の波長 $\lambda$ について $\beta/\pi$ の値を求めることができるので、精度よく測定を行なうことができる。

【0035】

上記発明において好ましくは、上記 $\Delta n \cdot d$ 導出手段において、コーシーの分散式を用いる。この構成を採用することにより、1つの $\phi$ についての測定のみでも、波長 $\lambda$ と $\Delta n \cdot d$ との近似式を求めることができ、簡便な厚み測定を行なうことができる。

【0036】

上記発明の他の局面においては、上記反射領域が拡散性を有し、上記受光手段による受光を上記入射に対応する正反射方向からはずれた位置で行なう。この構成を採用することにより、上側基板による正反射の成分を除外することができるので、拡散性を有する反射板を用いた反射型液晶セルに対しても、上側基板による正反射成分によって影響を及ぼされることなく、厚み測定を行なうことができる。

【0037】

上記目的を達成するため、本発明に基づく厚み測定方法の他の局面では、上下面を配向処理され、厚み方向に一様な複屈折率 $\Delta n$ を有する液晶層を一对の基板の間に備え、上記基板のうち一方の少なくとも一部に反射領域を有する反射型液晶表示素子において、上記液晶層の厚み $d$ を測定する方法であって、液晶の複屈折率 $\Delta n$ が既知である波長の単色光源からの光を第1偏光手段を介して上記液晶層に入射させ、上記反射領域で反射することによって上記液晶層から出射した反射光を、第2偏光手段を介して受光手段によって受光する受光工程と、上記受光工程と連動して上記第1偏光手段および上記第2偏光手段の透過軸同士のなす角

度を一定に保ったまま、上方から見て上記第 1 偏光手段および上記第 2 偏光手段が上記液晶層に対してなす角度である回転角を変化させながら受光する回転受光工程と、上記反射光が、上記入射の際の偏光面と同じ偏光面を維持して戻ってくる条件、すなわち、上記反射光のうちの常光線と異常光線との光路長差が、波長の整数倍と半波長との和、または、波長の整数倍であるという偏光面維持条件を満たす上記回転角を求める偏光面維持角度導出工程と、上記偏光面維持角度導出工程によって求められた角度および上記液晶層の既知のツイスト角から、所望の波長と  $\Delta n \cdot d$  との関係を導き、その中から選ばれる妥当な  $\Delta n \cdot d$  から  $d$  を求める厚み導出工程とを含む。

## 【 0 0 3 8 】

上記工程を採用することにより、透過光ではなく反射光を利用するため、透過光の有無を問わず、反射型の液晶セルについても精度よく測定を行なうことができる。また、偏光状態の変化を検出するものであって、反射光が結像することなどを条件としないため、反射領域が鏡面状であるか拡散性を有するかを問わず、厚み測定を行なうことができる。しかも、液晶の複屈折率  $\Delta n$  が既知の波長の単色光源を用いるので、近似式を用いなくても  $\Delta n$  が既知である波長での  $\Delta n \cdot d$  を直接得ることができる。そのため、近似式の精度の影響を受けにくく、さらに正確に  $d$  の測定を行なうことができる。

## 【 0 0 3 9 】

上記発明において好ましくは、上記偏光面維持角度導出工程は、上記反射光強度が極値となる上記回転角の値を求めることによって行なう。この工程を採用することにより、スペクトルから容易に偏光面維持条件を満たす回転角を求めることができ、測定を容易に行なうことができる。

## 【 0 0 4 0 】

上記発明において好ましくは、上記厚み導出工程において  $\Delta n \cdot d$  を求めるためにジョーンズ行列を用いる。この工程を採用することにより、機械的な計算をあてはめるのみで、偏光状態の変化を表現することができ、厚み  $d$  を求める演算を簡潔にすることができる。

## 【 0 0 4 1 】

上記発明においてさらに好ましくは、上記厚み導出工程における上記ジョーンズ行列の使用は、上記第 1 偏光手段の透過軸と上記液晶層の入射側表面における配向の向きとのなす角度を  $\phi$  とし、上記液晶層のツイスト角を  $\Theta$  とした場合に、上記反射光の偏光面が維持される場合の角度  $\phi$  と、既知の上記ツイスト角  $\Theta$  とから現実的に妥当な  $\Delta n \cdot d / \lambda$  の値を求め、得られた  $\Delta n \cdot d / \lambda$  の値から波長  $\lambda$  における  $\Delta n \cdot d$  を求めることである。

## 【 0 0 4 2 】

上記工程を採用することにより、非現実的な  $\Delta n \cdot d / \lambda$  の値は排除されるので、最も妥当な  $\Delta n \cdot d / \lambda$  を求めることができ、 $\Delta n$ 、 $\lambda$  は既知であるので  $d$  を求めることができる。

## 【 0 0 4 3 】

上記発明において好ましくは、上記第 1 偏光手段の透過軸と上記第 2 偏光手段の透過軸とが直交する。この工程を採用することにより、偏光面維持条件を満たす回転角においては、出射光のスペクトルが極小値 0 となり、見つけやすくなる。

## 【 0 0 4 4 】

上記発明において好ましくは、上記第 1 偏光手段の透過軸と上記第 2 偏光手段の透過軸とが平行である。この工程を採用することにより、偏光面維持条件を満たす回転角においては、出射光のスペクトルが極大値となり、見つけやすくなる。

## 【 0 0 4 5 】

上記発明の他の局面においては、上記反射領域が拡散性を有し、上記受光手段による受光を上記入射に対応する正反射方向からはずれた位置で行なう。この工程を採用することにより、上側基板による正反射の成分を除外することができるので、拡散性を有する反射板を用いた反射型液晶セルに対しても、上側基板による正反射成分によって影響を及ぼされることなく、厚み測定を行なうことができる。

## 【 0 0 4 6 】

本発明に基づく角度導出装置においては、単色光源と、上記単色光源からの光

を透過させる第1偏光手段と、測定対象で反射した反射光を透過する第2偏光手段と、上記第2偏光手段を透過した上記反射光を受光する受光手段と、上記受光手段と連動して上記第1偏光手段および上記第2偏光手段の透過軸同士のなす角度を一定に保ったまま、上方から見て上記第1偏光手段および上記第2偏光手段が上記液晶層に対してなす角度である回転角を変化させながら受光する回転受光手段と、上記反射光が、上記入射の際の偏光面と同じ偏光面を維持して戻ってくる条件、すなわち、上記反射光のうちの常光線と異常光線との光路長差が、波長の整数倍と半波長との和、または、波長の整数倍であるという偏光面維持条件を満たす上記回転角を求める偏光面維持角度導出手段とを備える。

## 【0047】

上記構成を採用することにより、透過光ではなく反射光のみを利用するため、反射型の液晶セルについても精度よく測定を行なうことができる。また、偏光状態の変化を検出するため、反射領域が鏡面状であるか拡散性を有するかを問わず、偏光面維持条件を満たす回転角を導出することができる。求めた回転角はセルギャップ $d$ を求めるために利用することができる。

## 【0048】

上記目的を達成するため、本発明に基づく厚み測定装置の他の局面においては、単色光源と、上記単色光源からの光を透過させる第1偏光手段と、測定対象で反射した反射光を透過する第2偏光手段と、上記第2偏光手段を透過した上記反射光を受光する受光手段と、上記受光手段と連動して上記第1偏光手段および上記第2偏光手段の透過軸同士のなす角度を一定に保ったまま、上方から見て上記第1偏光手段および上記第2偏光手段が上記液晶層に対してなす角度である回転角を変化させながら受光する回転受光手段と、上記反射光が、上記入射の際の偏光面と同じ偏光面を維持して戻ってくる条件、すなわち、上記反射光のうちの常光線と異常光線との光路長差が、波長の整数倍と半波長との和、または、波長の整数倍であるという偏光面維持条件を満たす上記回転角を求める偏光面維持角度導出手段と上記偏光面維持角度導出手段によって求められた角度から、波長 $\lambda$ と $\Delta n \cdot d$ との関係を求める、 $\Delta n \cdot d$ 導出手段と、波長 $\lambda$ と既知の $\Delta n$ とを用いて $d$ を求める厚み導出手段とを備える。

## 【 0 0 4 9 】

上記構成を採用することにより、透過光ではなく反射光のみを利用するため、反射型の液晶セルについても精度よく測定を行なうことができる。また、偏光状態の変化を検出するため、反射領域が鏡面状であるか拡散性を有するかを問わず、厚み測定を行なうことができる。また、単色光源を用いるため、その波長に対応する液晶の複屈折率 $\Delta n$ が既知でありさえすれば、近似式を用いなくても、その波長で得た $\Delta n \cdot d$ を直接利用することができる。そのため、近似式の精度の影響を受けにくく、さらに正確に $d$ の測定を行なうことができる。

## 【 0 0 5 0 】

上記発明において好ましくは、上記偏光面維持角度導出手段は、上記反射光強度が極値となる上記回転角の値を求めることによって行なうためのものである。この構成を採用することにより、スペクトルから容易に偏光面維持条件を満たす回転角を求めることができ、測定を容易に行なうことができる。

## 【 0 0 5 1 】

上記発明において好ましくは、上記 $\Delta n \cdot d$ 導出手段は、ジョーンズ行列を用いる。この構成を採用することにより、機械的な計算をあてはめるのみで、偏光状態の変化を表現することができ、厚み $d$ を求める演算を簡潔にすることができる。

## 【 0 0 5 2 】

上記発明において好ましくは、上記 $\Delta n \cdot d$ 導出手段における上記ジョーンズ行列の使用は、上記第1偏光手段の透過軸と上記液晶層の入射側表面における配向の向きとのなす角度を $\phi$ とし、上記液晶層のツイスト角を $\Theta$ とした場合に、上記反射光の偏光面が維持される場合の角度 $\phi$ と、既知の上記ツイスト角 $\Theta$ とから現実的に妥当な $\Delta n \cdot d / \lambda$ の値を求め、得られた $\Delta n \cdot d / \lambda$ の値から波長 $\lambda$ における $\Delta n \cdot d$ を求めることである。

## 【 0 0 5 3 】

上記構成を採用することにより、非現実的な $\Delta n \cdot d / \lambda$ の値は排除されるので、最も妥当な $\Delta n \cdot d / \lambda$ を求めることができ、 $\Delta n$ 、 $\lambda$ は既知であるので $d$ を求めることができる。

## 【 0 0 5 4 】

上記発明において好ましくは、上記第 1 偏光手段の透過軸と上記第 2 偏光手段の透過軸とが直交する。この構成を採用することにより、偏光面維持条件を満たす回転角においては、出射光のスペクトルが極小値 0 となり、見つけやすくなる。

## 【 0 0 5 5 】

上記発明において好ましくは、上記第 1 偏光手段の透過軸と上記第 2 偏光手段の透過軸とが平行である。この構成を採用することにより、偏光面維持条件を満たす回転角においては、出射光のスペクトルが極大値となり、見つけやすくなる。

## 【 0 0 5 6 】

上記発明において好ましくは、上記反射領域が拡散性を有し、上記受光手段による受光を上記入射に対応する正反射方向からはずれた位置で行なう。この構成を採用することにより、上側基板による正反射の成分を除外することができるので、拡散性を有する反射板を用いた反射型液晶セルに対しても、上側基板による正反射成分によって影響を及ぼされることなく、厚み測定を行なうことができる。

## 【 0 0 5 7 】

上記目的を達成するため、本発明に基づく波長導出装置は、光源と、上記光源からの光を透過させる第 1 偏光手段と、測定対象で反射した反射光を透過する第 2 偏光手段と、上記第 2 偏光手段を透過した上記反射光を受光する受光手段と、上記受光手段によって受光した反射光をスペクトル分解して波長  $\lambda$  と反射光強度との関係を検出する分光手段と、上記反射光が、上記入射の際の偏光面と同じ偏光面を維持して戻ってくる条件、すなわち、上記反射光のうちの常光線と異常光線との光路長差が、波長の整数倍と半波長との和、または、波長の整数倍であるという偏光面維持条件を満たす波長を求める偏光面維持波長導出手段とを備える。

## 【 0 0 5 8 】

上記構成を採用することにより、透過光ではなく反射光のみを利用するため、

反射型の液晶セルについても精度よく測定を行なうことができる。また、偏光状態の変化を検出するため、反射領域が鏡面状であるか拡散性を有するかを問わず、偏光面維持条件を満たす波長を導出することができる。求めた波長はセルギャップ  $d$  を求めるために利用することができる。

【0059】

【発明の実施の形態】

(実施の形態 1)

(装置の構成)

図 1 を参照して、装置の概略を説明する。光源 1 から出た光は、レンズ 6 を通った後、入射側偏光子 2 によって所定の方向に偏光状態を揃えて、入射光 8 として、液晶層 11 に入射し、反射板 15 に到達する。

【0060】

反射板 15 で反射された光は、再度液晶層 11 を逆向きに透過して、出射光 9 として、出射側偏光子 3 に向かう。出射側偏光子 3 では所定の方向の偏光のみが透過して、受光手段と分光手段とを兼ねる分光器 4 に入射する。分光器 4 は、受けた光をスペクトル分解できるものであれば、特に限定する必要はないが、なるべく高速で処理できる方が望ましい。

【0061】

分光器 4 で得られたスペクトルのデータは、電子計算機 5 に送られ、一定の演算処理が行われ、セルギャップの値が算出される。なお、入射側偏光子 2 および出射側偏光子 3 の角度設定や脱着を、電子計算機 5 からの指令によって行なえるようにして、一連の測定を自動化してもよい。

【0062】

光源 1 や分光器 4 は、通常、大きいものなので、設置場所に苦慮しないように、光源 1 と入射側偏光子 2 との間、出射側偏光子 3 と分光器 4 との間をそれぞれ光ファイバで接続することとしてもよい。

【0063】

測定対象となる液晶セル 101 は、ステージ 7 に載せられる。ステージ 7 は、入射光 8 と出射光 9 とで形成される平面に垂直で、入射光 8 と反射板 15 が交わ



る点を通る軸を中心に、任意の角度 $\theta$ だけ回転できるようになっている。また、ステージ7を前後左右方向にスライド可能にすることにより、測定点の移動を容易にすることができる。

## 【0064】

光源1としては、タングステン球を用いた。反射板15上におけるスポット径としては、本実施の形態では、約5mm $\phi$ で測定を行なったが、狭い範囲について測定したい場合は途中で配置するレンズ6の倍率を変更して所望のスポット径に設定できるようにしてもよい。測定対象とする波長の範囲としては、通常、液晶セルのセルギャップを測定するには可視帯域で十分であることから、380～780nmの範囲で0.1nmの分解能で測定を行なった。

## 【0065】

## (座標系)

偏光子2, 3や液晶セル101の方位角を表すための座標系について説明する。図2を参照して、反射板15を下にして液晶セル101を水平に置き、液晶セルの上面側、すなわち液晶セル101から見た光源の向きをz軸の正の向きとする。液晶の上側基板側配向方向25をx軸の正の向きとする。図2に示すように、液晶セル101の上方から見て反時計回りに正の符号を取り、x軸から90°回転した軸をy軸の正の向きとする。

## 【0066】

図2に示すように、液晶の上側基板側配向方向25がx軸すなわち0°であるとき、液晶の反射板側配向方向26の方位、すなわち、液晶層11のツイスト角を $\Theta$ とする。入射側偏光子2の透過軸23の方位を $\phi$ とする。出射側偏光子3の透過軸24の方位を $\phi'$ とする。

## 【0067】

## (測定の原理)

液晶セル101内の液晶層11は、複屈折体であるので、光が入射すると、その光の偏光状態に変化を与える。この偏光状態の変化は、入射する光の波長や偏光方向、液晶層11のツイスト角、セルギャップ、液晶の複屈折率に依存する。したがって、これらの関係が明確になれば、それらの値を基にセルギャップを求

めることができる。

【0068】

一般に、光の複屈折の作用を表す方法として、ジョーンズ行列を用いる方法がある。液晶層 11 のツイスト角を  $\Theta$ 、液晶の複屈折率を  $\Delta n$ 、セルギャップを  $d$  として、この方法について説明する。波長  $\lambda$  の光が  $z$  軸上を負の方向へ進み、液晶層を透過する場合の偏光作用は、ジョーンズ行列を用いて次式で表される。

【0069】

【数1】

$$J_{-z} = \begin{bmatrix} a & b \\ -b^* & a^* \end{bmatrix}$$

【0070】

ただし、

【0071】

【数2】

$$a = \cos \Theta \cos \beta + \frac{1}{\sqrt{1+\alpha^2}} \sin \Theta \sin \beta - \frac{i\alpha}{\sqrt{1+\alpha^2}} \cos \Theta \sin \beta$$

$$b = -\sin \Theta \cos \beta + \frac{1}{\sqrt{1+\alpha^2}} \cos \Theta \sin \beta - \frac{i\alpha}{\sqrt{1+\alpha^2}} \sin \Theta \sin \beta$$

$$\alpha = \frac{\Delta n \cdot d}{\Theta \lambda} \pi, \quad \beta = \Theta \sqrt{1+\alpha^2}$$

【0072】

である。さらに、その光が反射板で反射されて正の方向へ進みながら再度液晶層を透過した場合の偏光作用は、 $J_{-z}$ の転置行列である  $J_{+z}$ で表される。液晶層を往復することによって受ける偏光作用は、

$$J_{LC} = J_{+z} \times J_{-z}$$

で表される。

【0073】

入射側偏光子透過軸 23 の角度が  $\phi$ 、出射側偏光子透過軸 24 の角度が  $\phi'$ 、

入射光の振幅が  $E$  であるときに、出射光の出射側偏光子透過軸 2 4 方向の振幅  $E_t'$  とその直交方位の振幅  $E_a'$  は、ジョーンズ行列を用いて、

【0 0 7 4】

【数 3】

$$\begin{bmatrix} E_t' \\ E_a' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \times R(\phi') \times J_{LC} \times R(-\phi) \times \begin{bmatrix} E \\ 0 \end{bmatrix}$$

【0 0 7 5】

と表される。ただし、

【0 0 7 6】

【数 4】

$$R(\phi) = \begin{bmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix}$$

【0 0 7 7】

である。また、入射光強度  $I_{in}$  と出射光強度  $I_{out}$  はそれぞれ次のように表せる。

【0 0 7 8】

$$I_{in} = E^2, \quad I_{out} = E_t'^2 + E_a'^2$$

ここで、

$$\phi' = \phi + \pi / 2$$

としたとき、出射光強度  $I_{out}$  が 0 となる条件は、

(i)  $\phi$  が  $\pi / 2 \times n$  ( $n \geq 0$  : 整数) の場合、

④に関係なく、 $\beta / \pi$  が  $n$  ( $n \geq 0$  : 整数) のときである。

(ii)  $\phi$  が  $\pi / 4 + \pi / 2 \times n$  ( $n \geq 0$  : 整数) の場合、

④に関係なく、 $\beta / \pi$  が  $n / 2$  ( $n \geq 0$  : 整数) のときである。

(iii)  $\phi$  が上記以外の場合、

④に依存する。

【0 0 7 9】

一例として、 $\Theta = 4\pi/3$  ( $240^\circ$ ) の STN (Super Twisted Nematic: 超ねじれネマチック) 型の液晶表示素子において出射光強度  $I_{out}$  が 0 となる条件を満たす  $\phi$  と  $\beta/\pi$  との関係を図 3 に示す。

## 【0080】

これらの条件は、液晶セルを光が 1 回透過する際における常光線と異常光線の光路長差が、波長  $\lambda$  の整数倍と半波長  $\lambda/2$  との和、または、波長  $\lambda$  の整数倍であるという条件を表している。この条件が満たされるときは、反射光は入射光の偏光面を維持したまま戻ってくる性質がある。この条件を、以下、「偏光面維持条件」という。したがって、 $\phi' = \phi + \pi/2$  の条件下では、反射光は、出射側偏光子 3 を透過できずに、出射光強度  $I_{out}$  が 0 となる。

## 【0081】

図 3 からわかるように、この関係は周期性があり、 $0^\circ \sim 90^\circ$ 、 $90^\circ \sim 180^\circ$  といったように  $\phi$  の  $90^\circ$  の範囲ごとに同じ関係が得られる。したがって、 $\phi = 0^\circ \sim 90^\circ$  の範囲内の適当な角度で測定すれば、足りる。

$\phi = 0^\circ \sim 90^\circ$  のいくつかの角度で反射光の測定を行ない、極値となる波長を検出する。図 3 に示す関係を利用することにより、その波長における  $\beta/\pi$  の値を同定する。 $\beta/\pi$  が求まれば、 $\alpha$  を求めることができ、 $\Delta n \cdot d$  と  $\lambda$  との関係を求めることができる。 $\Delta n \cdot d$  と  $\lambda$  との関係が求まれば、既知の  $\lambda$  と  $\Delta n$  との組合わせをあてはめて、 $d$  を求めることができる。

## 【0082】

なお、入射光 8 と出射光 9 とは、液晶セル 101 上面に対して垂直に入出射させて測定することが理想である。一方、ある程度の入射角を以って入射させるようにした方が装置の組立てが容易である。この入射角は、あまり大きな角度とすると、ジョーンズ行列による近似の精度が悪くなるのでなるべく小さな角度とすることが望ましい。入射角の調整は、図 1 に示すようにステージ 7 の傾き角  $\theta$  を変えることによって行なう。

## 【0083】

(測定例)

粒径  $6\mu\text{m}$  のスペーサで作成した  $\Theta = 240^\circ$  の拡散性のある反射板 15 で作

成した液晶セル101に、波長589nmでの複屈折率 $\Delta n$ が0.135の液晶を注入し、液晶層11を形成したものを測定対象とした。入射角 $5^\circ$ 、出射角 $0^\circ$ となるようにステージ7の傾きを設定した。この入射角および出射角の理由については後述する。光は、 $\Theta/2$ の方位から入射するようにした。

## 【0084】

$\phi = 0.0^\circ, 22.5^\circ, 45.0^\circ, 67.5^\circ$ のそれぞれの条件で入射側偏光子2を透過させて光を液晶セル101に入射させ、反射光は $\phi' = \phi + \pi/2$ となる出射側偏光子3を透過させて、分光器4で反射光のスペクトル分解を行なった。その結果を図4～図7に示す。以下、 $\phi$ と $\phi'$ が直交する状態を「直交位」というものとする。

## 【0085】

図4に示すように、 $\phi = 0.0^\circ$ のときの反射光のスペクトルからは出射光強度 $I_{\text{out}} = 0$ となる波長として548.8nmが得られた。このとき、 $\phi$ は上記

(i)の場合に該当するので、 $\beta/\pi$ は整数であるといえる。次に $\beta/\pi$ がいかなる整数であるかを検討する。 $\alpha > 0$ であるので、 $\beta/\pi = 0$ は有り得ない。 $\beta/\pi = 1$ だとすると、 $\Theta = 240^\circ$  ( $4\pi/3$ )を代入して計算すると、 $\alpha$ の解はない。したがって、 $\beta/\pi = 1$ ではない。 $\beta/\pi = 2$ だとすると、 $(\Delta n \cdot d/\lambda)^2 = 20/9$ となり、 $\Delta n \cdot d/\lambda = 1.4907$ が得られる。 $\beta/\pi = 3$ だとすると、 $(\Delta n \cdot d/\lambda)^2 = 65/9$ となり、 $\Delta n \cdot d/\lambda = 2.6874$ が得られる。

## 【0086】

本実施の形態では、スペーサ粒径が $6\mu\text{m}$ であり、589nmでの複屈折率 $\Delta n$ が0.135の液晶であるから、589nmにおける $\Delta n \cdot d$ の値としては、 $6000 \times 0.135 = 810\text{nm}$ に近い値が予想される。また、548.8nmにおいても、これに近い値が予想される。これに対して、 $\beta/\pi = 3$ のときの $\Delta n \cdot d/\lambda = 2.6874$ からは、 $\lambda = 548.8\text{nm}$ を代入して、 $\Delta n \cdot d = 1475\text{nm}$ となる。これは大きすぎるため妥当ではない。一方、 $\beta/\pi = 2$ のときの $\Delta n \cdot d/\lambda = 1.4907$ からは、 $\Delta n \cdot d = 818.1\text{nm}$ となる。この値は、上述の810nmに十分近く、この値が妥当と考えられる。

## 【0087】

図5に示すように、 $\phi = 22.5^\circ$  のときの出射光強度  $I_{\text{out}} = 0$  となる波長としては、463.1 nm と 548.8 nm の2つが得られた。波長548.8 nm は、 $\phi = 0^\circ$  のときと条件は同じであるから、 $\beta/\pi = 2.000$  といえる。波長463.1 nm に対応する  $\beta/\pi$  としては、図3より、2.335, 3.381などが候補として挙げられるが、上述と同様に個別に  $\Delta n \cdot d$  の妥当性を検討すると、 $\beta/\pi = 2.335$  であって、 $\Delta n \cdot d = 887.7$  nm であるとわかる。

## 【0088】

図6に示すように、 $\phi = 45.0^\circ$  のときの出射光強度  $I_{\text{out}} = 0$  となる波長としては、434.8 nm と 548.8 nm の2つが得られた。548.8 nm に対応する  $\beta/\pi$  は既に求まっている通り、2.000である。434.8 nm に対応する  $\beta/\pi$  は図3および  $\Delta n \cdot d$  の妥当性検討から2.500と求まる。 $\beta/\pi = 2.500$  に対する  $\Delta n \cdot d$  は919.0 nm となる。

## 【0089】

図7に示すように、 $\phi = 67.5^\circ$  のときの出射光強度  $I_{\text{out}} = 0$  となる波長としては、413.5 nm と 548.8 nm と 708.4 nm の3つが得られた。このときの  $\beta/\pi$  の値は、上述と同様に、それぞれ、2.648, 2.000, 1.711が得られる。これら各波長での  $\Delta n \cdot d$  は、946.0 nm, 818.1 nm, 759.6 nm となる。

## 【0090】

図8に  $\phi = 90.0^\circ$  における反射光のスペクトルを示すが、これは、図4に示す  $\phi = 0.0^\circ$  のときと同等となっている。このことは、図3において、 $\phi$  の  $90^\circ$  周期で曲線の形が同じ繰返しとなっていることによるものである。

## 【0091】

以上得られた結果を、波長ごとにまとめて、表1に示す。

## 【0092】

【表 1】

波長 (nm)	$\beta / \pi$	$\Delta n \cdot d$ (nm)
413.5	2.648	946.0
434.8	2.500	919.5
463.1	2.335	887.7
548.8	2.000	818.1
708.4	1.711	759.6

## 【0093】

表 1 に示す波長  $\lambda$  と  $\Delta n \cdot d$  との関係をプロットしたものを図 9 に示す。この関係を 3 次関数で近似すると、

$$\Delta n \cdot d = -2.849 \times 10^{-6} \times \lambda^3 + 6.725 \times 10^{-3} \times \lambda^2 - 5.426 \times \lambda + 2.241 \times 10^{-3}$$

となる。ここでは 3 次関数で近似したが、他の適当な式に近似してもよい。

## 【0094】

本実施の形態では、589 nm における  $\Delta n$  が 0.135 と知られている液晶を用いているので、 $\lambda = 589 \text{ nm}$  を上記 3 次関数に代入すると、 $\Delta n \cdot d$  は 796.3 nm となる。セルギャップ  $d = 796.3 / 0.135 = 5.90 \mu\text{m}$  と求められる。これが測定対象のセルギャップの値である。

## 【0095】

本実施の形態では、 $\phi$  を  $22.5^\circ$  刻みとして測定を行なったが、間隔をより細かくしてそれぞれ測定を行なえば、 $\Delta n \cdot d$  の波長分散の関係もより精度良く得られ、求められるセルギャップ  $d$  の値の精度も向上する。

## 【0096】

$\phi$  と  $\phi'$  とのなす角度を  $90^\circ$  としたのは、液晶セル 101 から返ってくる出射光 9 が入射光 8 と同じ偏光面を維持して戻ってくる場合に分光器 4 に入る出射光強度が 0 になるようにするためである。これは、偏光面維持条件を満たすときに、反射光は、入射の際の偏光面と同じ偏光面を維持して戻ってくるという性質を利用して、そのように同じ偏光状態を維持して戻ってくる状態を検出しやすくするためである。

## 【0097】

液晶表示素子は偏光状態の変化を利用するディスプレイであるので、反射板15は、表面に凹凸形状を有する拡散性（非鏡面）のものであっても、偏光状態には影響しないようなものが常に選択されている。なぜなら、反射板15で偏光状態が乱れると、設計通りの偏光状態のスイッチングができなくなり、表示品位を著しく損なうからである。

## 【0098】

（入射角、出射角）

入射光8と出射光9とのなす角度を、たとえば、本実施の形態のように $5^\circ$ とする場合で説明する。もちろん、この角度は $5^\circ$ に限られるものではない。

## 【0099】

現在実用化されつつある反射型カラー液晶表示素子の反射板の形状としては、大きく2種類に分類できる。1つは、表面が平らな鏡面状のものであり、もう一つは表面に凹凸を設けることによって拡散性を有する反射板である。

## 【0100】

反射板15が鏡面状の反射板であれば、入射角 $2.5^\circ$ 、出射角 $2.5^\circ$ となるようにステージ7の傾きを設定して、 $\Theta/2$ の方位から光を入射して、測定を行えばよい。鏡面状反射板の場合、正反射の位置で出射光の強度が最大となるから、このように反射板15に対する正反射の位置で反射光の検出を行なうことが好ましい。この場合、液晶層を透過する光路長が $1/\cos 2.5^\circ = 1.0010$ 倍となり、往路と復路で光路長が約0.2%長くなるが、この程度であれば実用上問題ない精度である。

## 【0101】

一方、本実施の形態のように反射板15が拡散性の反射板である場合には、反射光は反射板15によって様々な方向に拡散するため、正反射方向に反射する成分が大きく減少し、正反射方向で検出できる光としては、反射板15による反射光の成分よりも液晶セル101の上側基板12表面で正反射される成分が支配的になる。そのため測定されるスペクトルの形状が大きく崩れる。そこで、出射光の検出部を正反射の位置から、入射光8と反射板15の交わる位置を支点にして



液晶セル 1 0 1 の上側基板 1 2 表面で正反射された反射光から外れた位置までずらすことにより、上側基板 1 2 による正反射の影響を受けず、かつ、反射板 1 5 によって拡散された反射光は検出することができる。

#### 【 0 1 0 2 】

具体的には、本実施の形態で行なったように、入射光 8 と出射光 9 とのなす角度は  $5^{\circ}$  を保ったまま、入射角  $5^{\circ}$ 、出射角  $0^{\circ}$  となるようにステージ 7 の傾きを設定して、測定を行なえばよい。

#### 【 0 1 0 3 】

##### (反射率の基準)

反射率は、基準反射光強度に対する反射光強度の百分率で表した。出射側偏光子 3 を測定時と同じ角度にして光路上に配置し、入射側偏光子 2 を光路上に配置しない状態で液晶セル 1 0 1 に光を入射し、反射板 1 5 で反射した反射光を測定時同様に分光器 4 で受光し、スペクトル分解したときの各スペクトル強度を基準反射光強度、すなわち 1 0 0 % とした。このように測定時同様に液晶セル 1 0 1 からの反射光を用いることで、液晶セルの持つ反射特性の波長依存性を除去でき、純粹に偏光作用の波長依存性を反映したスペクトル強度を測定できる。

#### 【 0 1 0 4 】

通常、分光器の回折格子は偏光特性を持つので、分光器に入る出射光の偏光方向は基準反射光強度測定時とセルギャップ測定時とでは、同じ方向に設定することが好ましい。

#### 【 0 1 0 5 】

しかし、偏光状態に影響されない分光器を用いるのであれば、出射側偏光子 3 の代りに、入射側偏光子 2 をセルギャップ測定時の角度にして光路上に配置し、出射側偏光子 3 を光路から外して、基準反射光強度を測定しても良い。要するに、光源 1 から出た光が分光器 4 に受光されるまでに一方の偏光子のみを透過する状態にして行なえばよい。

#### 【 0 1 0 6 】

##### (実施の形態 2)

$\phi$  と  $\phi'$  とのなす角度を  $90^{\circ}$  以外とした場合においても、本発明の適用は一

応可能である。たとえば、 $\phi = 0^\circ$  ,  $\phi' = 60^\circ$  で得たスペクトルを図 1 0 に示す。 $\phi$  ,  $\phi'$  以外の条件は実施の形態 1 と同じである。ただし、このように、 $\phi$  と  $\phi'$  とのなす角度が  $90^\circ$  以外の場合は、極値が不明瞭となる傾向があり、解析が困難である。

## 【0 1 0 7】

## (実施の形態 3)

$\phi$  と  $\phi'$  とを平行（以下、この状態を「平行位」という。）にしたとき、たとえば、 $\phi = 45^\circ$  ,  $\phi' = 45^\circ$  で得たスペクトルを図 1 1 に示す。 $\phi$  ,  $\phi'$  以外の条件は実施の形態 1 と同じである。この場合も、偏光面維持条件を満たすときに、反射光は、入射の際の偏光面と同じ偏光面を維持して戻ってくるという性質を利用していることには変わりない。直交位では、スペクトル強度が極小値 0 になるところが、平行位では、極大値に置き換わるだけであり、それらに注意すれば同様な解析ができる。図 1 1 を、同じ  $\phi = 45.0^\circ$  の図 6 と比較すると、図 6 の極小値が図 1 1 では極大値に置き換わっていることがわかる。なお、極大値は、理論的には反射率 100% となるはずだが、実際には、図 1 1 に示されるように必ずしも 100% にはならない。これは、基準反射光強度測定時に光路上に置いていなかった入射側偏光子 2 による吸収ロスの存在による。

## 【0 1 0 8】

平行位で測定を行なう場合、入射側偏光子 2 と出射側偏光子 3 とを 1 つの偏光子で兼ねることも可能となる。そのようにすれば、測定器の簡素化を図ることができる。

## 【0 1 0 9】

## (従来技術との比較)

従来方法 1 を用いる場合を考えると、偏光子の配置は、入射側偏光子は液晶セルの入射側配向方向から  $+45^\circ$  、出射側偏光子は液晶セルの出射側配向方向から  $+45^\circ$  であるので、これを反射型の場合にあてはめると、本発明に基づく実施の形態のうち、偏光子が平行位で  $\phi = \phi' = 45.0^\circ$  の配置が条件として近い。これは、実施の形態 3 において図 1 1 に示したものである。よって、図 1 1 によって得られるスペクトルのデータに従来方法 1 の演算方法を適用してみる。

## 【0 1 1 0】

従来方法 1 は、極大強度の条件として、

$$\Delta n \cdot d = \lambda_0 \cdot (m_0^2 - \Theta^2 / \pi^2)^{1/2}$$

を用い、極小強度の条件としては、

$$\Delta n \cdot d = \lambda_0 \cdot ((m_0 - 1/2)^2 - \Theta^2 / \pi^2)^{1/2}$$

を用いて演算を行なっている。ただし、

$\Delta n$  : 複屈折率 ( $\Delta n =$  異常屈折率  $n_e$  - 正常屈折率  $n_o$ )

$\lambda_0$  : 極大または極小となる波長

$m_0$  : 次数

$\Theta$  : 液晶層のツイスト角

である。図 1 1 から、極大波長は、4 3 4 . 8 n m、5 4 8 . 8 n m という値が得られ、極小波長は 4 0 0 . 5 n m、4 7 9 . 1 n m、6 6 2 . 5 n m という値が得られる。これらの波長と上述の式を用いて、 $m_0$  が 1 ~ 5 での  $\Delta n \cdot d$  を計算する。しかし、 $m_0 = 1$  では、 $m_0^2 - \Theta^2 / \pi^2$  および  $(m_0 - 1/2)^2 - \Theta^2 / \pi^2$  が負となるため不適当である。よって、 $m_0$  が 2 ~ 5 での  $\Delta n \cdot d$  を計算する。極大波長における計算結果を表 2 に示す。極小波長における計算結果を表 3 に示す。

## 【0 1 1 1】

【表 2】

各波長  $\lambda$  に対応する  $\Delta n \cdot d$  (n m)

$m_0$	$\lambda = 4 3 4 . 8 \text{ n m}$	$\lambda = 5 4 8 . 8 \text{ n m}$
2	6 4 8 . 2	8 1 8 . 1
3	1 1 6 8 . 5	1 4 7 4 . 9
4	1 6 3 9 . 7	2 0 6 9 . 7
5	2 0 9 5 . 3	2 6 4 4 . 6

## 【0 1 1 2】

【表 3】

各波長  $\lambda$  に対応する  $\Delta n \cdot d$  (nm)

$m_0$	$\lambda = 400.5 \text{ nm}$	$\lambda = 479.1 \text{ nm}$	$\lambda = 662.5 \text{ nm}$
2	275.2	329.2	455.3
3	847.0	1013.2	1401.0
4	1296.1	1550.4	2143.9
5	1721.3	2059.1	2847.4

【0113】

ここで各波長に対応する  $m_0$  を求める。通常用いられる液晶の  $\Delta n \cdot d$  は、短波長側で大きくなる正常分散を持つので、波長が大きくなるほど、 $\Delta n \cdot d$  は小さくなる。よって、 $\Delta n \cdot d / \lambda$  は、波長が長いほど小さくなるので、 $m_0$  も長波長側で小さい値となる。よって、 $m_0$  の値は、極大波長では  $434.8 \text{ nm}$  の方が  $548.8 \text{ nm}$  より大きく、同様に極小波長では、 $m_0$  が大きい方から  $400.5 \text{ nm}$ 、 $479.1 \text{ nm}$ 、 $662.5 \text{ nm}$  の順となる。これらの間では、波長が短いものから長いものへと順に次数  $m_0$  は 1 ずつ小さくなっていく。そこで、液晶層の  $\Delta n \cdot d$  と波長との相関をとると、表 4 に示すようになる。

【0114】

【表 4】

各波長  $\lambda$  に対応する  $\Delta n \cdot d$  (nm)

$m_0$	$\lambda = 400.5 \text{ nm}$	$\lambda = 434.8 \text{ nm}$	$\lambda = 479.1 \text{ nm}$	$\lambda = 548.8 \text{ nm}$	$\lambda = 662.5 \text{ nm}$
2	275.2	—	—	—	—
3	847.0	648.2	329.2	—	—
4	1296.1	1168.5	1013.2	818.1	455.3
5	1721.3	1639.7	1550.4	1474.9	1401.0

【0 1 1 5】

表 4 の左側の欄の  $m_0 = 2, 3, 4, 5$  は、目安として波長  $\lambda = 400.5 \text{ nm}$

mにおける $m_0$ の値を示したものであって、表4において同じ行で右側に1つずつれるごとに $m_0$ は1つずつ小さくなる。

【0116】

400.5nmでの $m_0$ が2の場合および3の場合は、長波長側で適当な値がないので、400.5nmでの $m_0$ が4の場合および5の場合の、波長と $\Delta n \cdot d$ との関係を図12に示す。また、同じ図12中には、本発明による方法で測定して得られた、波長と $\Delta n \cdot d$ との正しい関係も示す。従来方法を用いた場合、 $m_0=4$ のときに548.8nmで交わるのみで、一般には大きくずれる結果となった。このとき、589nmでの $\Delta n \cdot d$ は近似的にはそれぞれ、701.8nm、1444.9nmと求められ、589nmにおいて $\Delta n=0.135$ という組合せを代入して、セルギャップ $d=5.20\mu\text{m}$ 、 $10.70\mu\text{m}$ となり、本発明から得られた5.90 $\mu\text{m}$ という値からは大きくずれた値となった。

【0117】

このことから明らかなように、従来方法1では、反射型の液晶セルにおけるセルギャップ測定には不十分である。よって、反射型の液晶セルにおけるセルギャップ測定にとっては、本発明による方法を用いるほかに適当な方法がなく、本発明は、この分野の技術的進歩に大きく寄与するものである。

【0118】

(実施の形態4)

実施の形態1～3で行なったように $\phi$ を変化させて出射光強度が極値になる波長を調べて解析する方法は、精度良く測定できるのが特徴であるが、 $\phi$ を変化させる必要があるため、測定回数が増え、測定時間が長くなる。また、偏光子あるいは液晶セルを回転させる機構も必要になる。そこで、本実施の形態では、精度は落ちるが、簡易的に測れる方法について説明する。

【0119】

直交位において $\phi$ をある値に固定したときに分光器4で測定する波長範囲で反射光強度が0になる波長が2つ以上あるときには、各波長での $\beta/\pi$ を求め、あてはめることにより、その波長に対応する $\Delta n \cdot d$ が求められる。これらの2点あるいは3点間を適当な近似式で補間することによって、波長と $\Delta n$ との既知の

組合せからセルギャップ  $d$  を求めることができる。

【0 1 2 0】

(測定例)

粒径  $6 \mu\text{m}$  のスペーサで作成した  $\Theta = 240^\circ$  の拡散性のある反射板 15 で作成した液晶セル 101 に、波長  $589 \text{ nm}$  での複屈折率  $\Delta n$  が  $0.150$  の液晶を注入し、液晶層 11 を形成したものを測定対象とした。 $\phi = 45.0^\circ$  として、 $\Theta/2$  の方位から光を入射した。得られた反射光のスペクトルを図 13 に示す。図 13 から、出射光強度が 0 となる波長は、 $399.4 \text{ nm}$  と  $465.3 \text{ nm}$  と  $592.5 \text{ nm}$  であることがわかる。想定される  $\beta/\pi$  を当てはめると、表 5 に示す関係が得られる。

【0 1 2 1】

【表 5】

$\lambda$ (nm)	type I		type II		type III	
	$\beta/\pi$	$\Delta n \cdot d$ (nm)	$\beta/\pi$	$\Delta n \cdot d$ (nm)	$\beta/\pi$	$\Delta n \cdot d$ (nm)
399.4	2.5	844.6	3.0	1073.4	3.5	1716.6
465.3	2.0	693.6	2.5	984.0	3.0	1754.8
592.5	1.5	407.2	2.0	883.2	2.5	1917.4

【0 1 2 2】

この関係を図 1 4 に示す。本実施の形態では、粒径  $6 \mu\text{m}$  のスパーサと  $589 \text{ nm}$  において  $\Delta n = 0.150$  の液晶を用いていることから、 $589 \text{ nm}$  における予想される  $\Delta n \cdot d$  は  $900 \mu\text{m}$  である。したがって、表 5 の type I ~ III のうちで type II が最も妥当であるとわかる。次に、type II の波



長分散性をコーシーの分散式  $\Delta n \cdot d = A + B / \lambda^2$  を用いて求めると、係数  $A$ 、 $B$  は、 $A = 729.0$ 、 $B = 5.416 \times 10^7$  となる。こうして得られた近似式に  $\lambda = 589 \text{ nm}$  を代入すると、 $\Delta n \cdot d = 885.1 \text{ nm}$  となる。このことから、セルギャップ  $d = 885.1 \text{ nm} / 0.150 = 5.90 \mu\text{m}$  が求められる。

## 【0123】

本実施の形態においては、 $\phi$  を変える必要がなく、偏光子を固定したままで測定できるので、実施の形態 1～3 に比べて、簡便な測定方法として利便性が高い。なお、ここでは、コーシーの分散式を用いたが、必要に応じて他の近似式を用いてもよい。

## 【0124】

また、本実施の形態では、 $\phi = 45^\circ$  で測定を行なったが、 $45^\circ$  に限らず、他の角度でも行なうことができる。もっとも、 $\phi = 45^\circ$  のときが出射光強度が 0 になる波長が最も均等に並び、 $\beta / \pi$  も 0.5 刻みのきりのいい数字となるので好都合である。ただし、測定を行なう波長範囲で出射光強度が 0 になる波長が 2 つ以上得られない場合は、この限りではない。たとえば、粒径  $6 \mu\text{m}$  のスペーサで作成した  $\Theta = 240^\circ$  の鏡面状の反射板で作成した液晶セルに、波長  $589 \text{ nm}$  での複屈折率  $\Delta n$  が 0.110 の液晶を注入して、液晶層を形成したものを測定対象とし、 $\Theta / 2$  の方位から光を入射した場合、図 15 に示すようなスペクトルが得られる。ここでは、出射光強度が 0 になる波長が 1 つしか得られないため、近似式を決定するためにも情報が不十分である。このような場合には、 $\phi$  を変更せざるを得ない。たとえば、図 16 に示す  $\phi = 67.5^\circ$  のように出射光強度が 0 になる波長が少なくとも 2 つある  $\phi$  を選ぶ必要がある。

## 【0125】

なお、上述の実施の形態においては  $\Theta = 240^\circ$  の STN 型の液晶セルで測定を行なったが、本発明による測定方法は、原理上  $\Theta = 240^\circ$  に限定されるものではなく、 $\Theta = 90^\circ$  前後の TN (Twisted Nematic: ねじれネマチック) 型の液晶セルでも同様に測定できる。

## 【0126】

## (実施の形態 5)

これまでの実施の形態では、タングステン球などの白色光を偏光子を介して入射させ、出射した光を分光することにより複数の波長での  $\Delta n \cdot d$  を計算し、その結果を基に  $\Delta n$  が既知である波長での  $\Delta n \cdot d$  を近似式から求めて、その値からセルギャップ  $d$  を演算していた。すなわち、この方法は必ずしも  $\Delta n$  が既知である波長での  $\Delta n \cdot d$  値を実測しているわけではない。しかし、理想的には、 $\Delta n$  が既知である波長の光を用いてその波長での  $\Delta n \cdot d$  を実測し、その  $\Delta n \cdot d$  と既知の  $\Delta n$  からセルギャップ  $d$  を求める方法が有効であるので、その方法について述べる。

## 【0127】

$\Delta n$  が既知である波長についての情報が求められるので、光源にその波長の単色光源を用いる方法と、白色光源を光源として用いて、分光器あるいは干渉フィルタ等を用いて  $\Delta n$  が既知である波長の光のみ検出できるようにする方法とが考えられる。これらの方法により  $\Delta n$  が既知である波長の情報のみ検出できる。

## 【0128】

本実施の形態では、後者の方法を採用した。その実現のために、図1に示す装置において、所望の波長のみ検出できるように分光器4のスリットを設定し、入射側偏光子2と出射側偏光子3との透過軸が互いになす角度を所定の角度に保ったまま液晶セル101に垂直な回転軸を中心として自由に回転できるようにし、入射側偏光子2または出射側偏光子3の透過軸が、液晶の上側基板側配向方向25、すなわちx軸の正の向きとなす角度（以下、「回転角」という。）による検出強度の変化を検知できるようにした。なお、入射側偏光子2および出射側偏光子3を回転させる代わりに液晶セル101を載せたステージ7を液晶セル101に垂直な回転軸を中心として回転させてもよい。また、単色光源を用いるかあるいは白色光源と干渉フィルタを組み合わせたものを用いると分光器が不要になり、その分安価に製造できるが、測定自体は本実施の形態で採用する方法と比べて本質的には何ら変わることはない。

## 【0129】

以下、図1を基に本発明の概略を説明する。

白色光源である光源 1 から発した入射光 8 がレンズ 6 を通った後、入射側偏光子 2 を介して液晶層 1 1 に入射する。反射板 1 5 で反射されて再度液晶層 1 1 を通過した出射光 9 が出射側偏光子 3 を介し、 $\Delta n$  が既知である波長の光のみ検出されるようにスリットを調整した分光器 4 で検出される。

## 【 0 1 3 0 】

図 2 に示すように、入射側偏光子透過軸 2 3 と上側基板側配向方向 2 5 とのなす角度を  $\phi$  とし、出射側偏光子透過軸 2 4 と上側基板側配向方向 2 5 とのなす角度を  $\phi'$  とすると、この  $\phi$  と  $\phi'$  と出射強度には数 1 ~ 3 の式により相関が得られる。

## 【 0 1 3 1 】

$\phi = \phi'$ 、あるいは  $\phi = \phi' \pm 90^\circ$  の時は、実施の形態 1 の測定の原理の節で説明した偏光面維持条件を適用できる。

## 【 0 1 3 2 】

ここで、入射側偏光子 2 と出射側偏光子 3 が平行 ( $\phi = \phi'$ ) で、ツイスト角  $\Theta$  が  $240^\circ$  であるときに最大強度が得られる  $\phi$  と  $\Delta n \cdot d / \lambda$  との相関を図 1 7 に示す。また、入射側偏光子 2 と出射側偏光子 3 が直交 ( $\phi = \phi' \pm 90^\circ$ ) で、ツイスト角  $\Theta$  が  $240^\circ$  であるときに最小強度が得られる  $\phi$  と  $\Delta n \cdot d / \lambda$  との相関も図 1 7 に示すようになる。ここではパラメータ  $\Delta n \cdot d / \lambda$  を 3 までとった。この結果を用いることにより液晶の  $\Delta n$  が既知である測定波長  $\lambda$  とこれに対応する  $\Delta n \cdot d$  の関係が得られ、このとき  $\Delta n$  は既知であるのでセルギャップ  $d$  を求めることができる。

## 【 0 1 3 3 】

たとえば、実施の形態 1 で用いた液晶セルと同じく、波長  $589 \text{ nm}$  での  $\Delta n$  が  $0.135$  である液晶を封入したツイスト角  $\Theta = 240^\circ$  の液晶セルで実施を試みる。入射側偏光子 2 と出射側偏光子 3 との双方の透過軸を互いに平行に配置して白色光を入射し、透過軸同士を互いに平行に保ったまま入射側偏光子 2 の透過軸 2 3 と上側基板側配向方向 2 5 とのなす角度  $\phi$  を変化させながら  $589 \text{ nm}$  の光の検出強度の  $\phi$  に対する変化を測定すると図 1 8 に示すようになり、最大強度が得られる角度  $\phi = 83.5^\circ$  となる。図 1 7 から角度  $\phi = 83.5^\circ$  で偏光

面維持条件を満足する  $\Delta n \cdot d / \lambda$  は 1. 3 5 および 2. 5 2 であることがわかる。 $\lambda = 589 \text{ nm}$  であるので  $\Delta n \cdot d$  は  $1.35 \times 589 = 795.2 \text{ nm}$  か  $2.52 \times 589 = 1484 \text{ nm}$  となる。これらのうち後者は予想されるセルギャップの値から考えて明らかに不適であるので、 $\Delta n \cdot d$  の値としては  $795.2 \text{ nm}$  が採用でき、既知の  $\Delta n = 0.135$  から  $d = 795.2 / 0.135 = 5.89 \mu\text{m}$  の値が得られる。

## 【0134】

こうして、実施の形態 1 で得たセルギャップ値である  $5.90 \mu\text{m}$  とほぼ同等の値が得られた。これは、実施の形態 1 での近似式の精度が良かったことを裏付けており、精度の良くない近似式を用いるとこの両者の値の差は更に広がるものと思われる。

## 【0135】

図 17 に示した条件は、偏光面維持条件を満足する  $\Delta n \cdot d / \lambda$  と  $\phi$  との関係であるので、入射側偏光子 2 と出射側偏光子 3 との双方の透過軸を互いに直交するように配置するときは最小強度が得られる  $\phi$  がこの条件を満足する。透過軸同士を互いに直交するように配置したときの例として、実施の形態 4 で図 15 を参照して説明した際と同一条件の液晶セル、すなわち、波長  $589 \text{ nm}$  での  $\Delta n$  が 0.110 の液晶を封入したツイスト角  $\Theta = 240^\circ$ 、スペーサ粒径  $6 \mu\text{m}$  の液晶セルに、入射側偏光子 2 と出射側偏光子 3 を直交に配置して白色光を入射し、入射側偏光子 2 と出射側偏光子 3 の偏光軸角度を直交に保ったまま入射側偏光子 2 の偏光軸角度 23 と入射する側の液晶の配向方向 25 とのなす角度  $\phi$  を変化させながら  $589 \text{ nm}$  の光の検出強度の  $\phi$  に対する変化を測定すると図 19 となる。

## 【0136】

ここで、最小強度が得られる角度は  $69.4^\circ$  となる。図 17 から  $\phi = 69.4^\circ$  で偏光面維持条件を満足する  $\Delta n \cdot d / \lambda$  は 1.10 および 2.33 が求まり、これから  $\Delta n \cdot d$  は  $1.10 \times 589 = 647.9 \text{ nm}$  か  $2.33 \times 589 = 1372 \text{ nm}$  が求まる。このうち後者は明らかに不適であるから  $589 \text{ nm}$  での  $\Delta n \cdot d$  は  $647.9 \text{ nm}$  となり、既知の  $\Delta n = 0.110$  を代入してセルギ

ギャップ  $d$  は  $647.9 / 0.110 = 5.89 \mu\text{m}$  が得られる。

【0137】

本実施の形態で示した方法の利点は、所望の波長でのレタデーションすなわち  $\Delta n \cdot d$  を測定できることにより、近似式に頼ることなくセルギャップを求めることができることである。

【0138】

この例では、白色光源を用いて分光器により所望の波長のみ検知できるようにしたが、単色光源を用いれば分光器を用いなくても測定が可能である。単色光源としてはレーザや、白色光源に干渉フィルターを用いたものなどが使用できる。波長は  $\Delta n$  が定義されている波長であれば特に問題はない。アッペ屈折率計を用いれば、特定の波長の  $\Delta n$  を簡便に測定できる。また、平行位測定では偏光子を1枚としてその1枚の偏光子を液晶セルに対して回転角を変えながら反射光強度が最大となる角度を見出すだけでよいので、装置をより簡便化することができる。

【0139】

また、 $\Delta n \cdot d / \lambda$  の値によっては  $\phi$  の変化に対して反射光強度の変化がほとんど得られなくなる場合がある。ツイスト角  $\Theta = 240^\circ$  の場合、 $\Delta n \cdot d / \lambda = 1.4907$  または  $2.6874$  のときが該当し、これは  $\beta / \pi$  がたまたま整数になるときである。この場合は、 $\phi$  に対する反射光強度の変化が測定誤差に埋もれて極大、極小を与える  $\phi$  の値が分からなくなるので、そのときは異なる波長の単色光を用いるようにすればよい。

【0140】

なお、今回開示した上記実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではない。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更を含むものである。

【0141】

【発明の効果】

本発明によれば、偏光面維持条件を満たすときに、反射光は、入射の際の偏光

面と同じ偏光面を維持して戻ってくるという性質を利用して、厚み方向に均質な複屈折率 $\Delta n$ を有する複屈折体の厚みを測定することができるので、従来は測定できなかった、反射型の液晶表示素子に含まれる配向処理された液晶層の厚みを測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明に基づく実施の形態 1 における測定装置の概念図である。

【図 2】 座標系の説明図である。

【図 3】 出射光強度が 0 になる場合の  $\phi$  に対する  $\beta / \pi$  の値を表すグラフである。

【図 4】 本発明に基づく実施の形態 1 における  $\phi = 0.0^\circ$  で直交位のときのスペクトルを示すグラフである。

【図 5】 本発明に基づく実施の形態 1 における  $\phi = 22.5^\circ$  で直交位のときのスペクトルを示すグラフである。

【図 6】 本発明に基づく実施の形態 1 における  $\phi = 45.0^\circ$  で直交位のときのスペクトルを示すグラフである。

【図 7】 本発明に基づく実施の形態 1 における  $\phi = 67.5^\circ$  で直交位のときのスペクトルを示すグラフである。

【図 8】 本発明に基づく実施の形態 1 における  $\phi = 90.0^\circ$  で直交位のときのスペクトルを示すグラフである。

【図 9】 本発明に基づく実施の形態 1 における波長と  $\Delta n \cdot d$  との関係を示すグラフである。

【図 10】 本発明に基づく実施の形態 2 における  $\phi = 0^\circ$  ,  $\phi' = 60^\circ$  のときのスペクトルを示すグラフである。

【図 11】 本発明に基づく実施の形態 3 における  $\phi = 45.0^\circ$  で平行位のときのスペクトルを示すグラフである。

【図 12】 従来方法 1 と本発明に基づく方法との比較を示すグラフである。

【図 13】 本発明に基づく実施の形態 4 における  $\phi = 45.0^\circ$  で直交位のときのスペクトルを示すグラフである。

【図 1 4】 本発明に基づく実施の形態 4 における波長と  $\Delta n \cdot d$  との関係を示すグラフである。

【図 1 5】 本発明に基づく実施の形態 4 における  $\phi = 45.0^\circ$  で直交位のときのスペクトルを示すグラフである。

【図 1 6】 本発明に基づく実施の形態 4 における  $\phi = 67.5^\circ$  で直交位のときのスペクトルを示すグラフである。

【図 1 7】 本発明に基づく実施の形態 5 における偏光面維持条件を満足する  $\Delta n \cdot d / \lambda$  と  $\phi$  との関係を示すグラフである。

【図 1 8】 本発明に基づく実施の形態 5 において説明に用いた実施の形態 1 の液晶セルの  $\phi$  と反射光強度との相関を示すグラフである。

【図 1 9】 本発明に基づく実施の形態 5 において説明に用いた実施の形態 4 の図 1 5 と同一条件の液晶セルを用いたときの  $\phi$  と反射光強度との相関を示すグラフである。

【図 2 0】 従来の透過型液晶ディスプレイの断面図である。

【図 2 1】 従来の反射型液晶ディスプレイの断面図である。

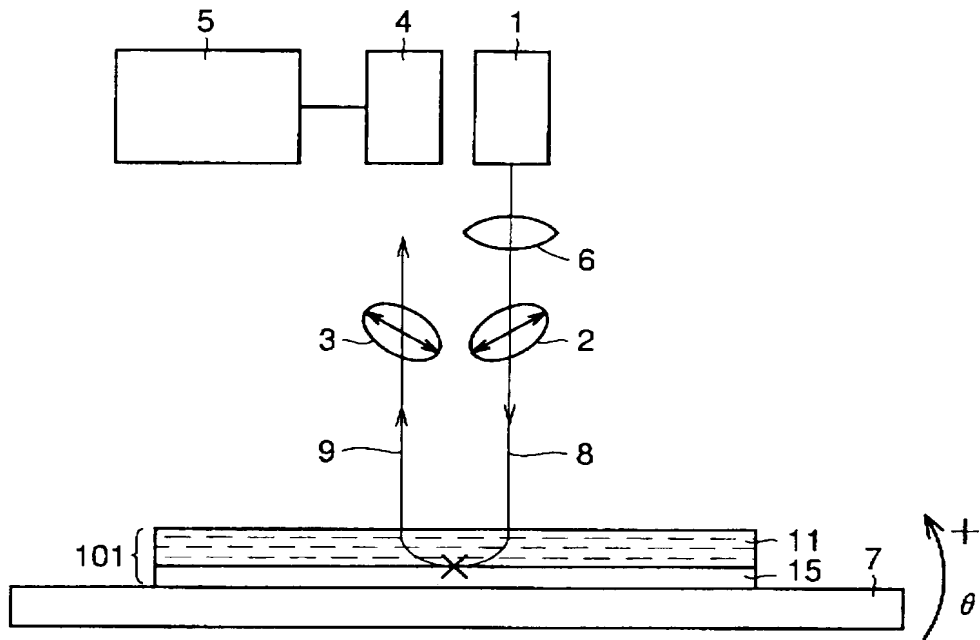
【図 2 2】 反射板をセル内に配置した反射型カラー液晶ディスプレイの断面図である。

# 【符号の説明】

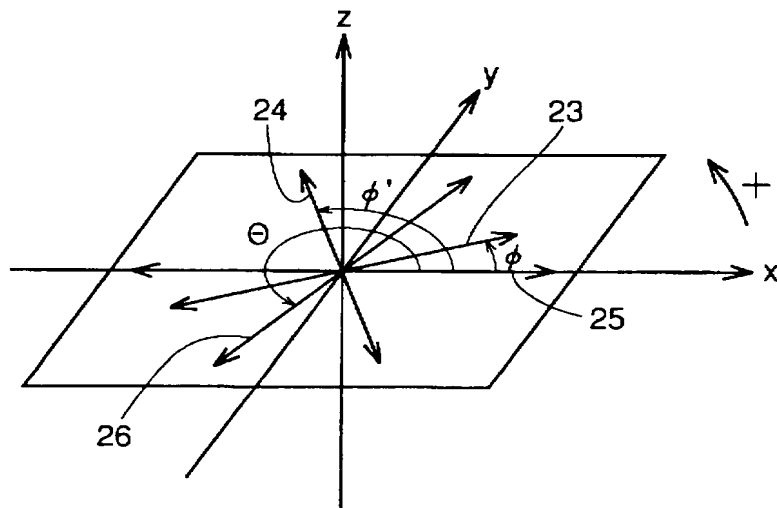
1 光源、2 入射側偏光子、3 出射側偏光子、4 分光器、5 電子計算機、6 レンズ、7 ステージ、8 入射光、9 出射光、11 液晶層、12 基板、14 偏光板、15 反射板、23 入射側偏光子透過軸、24 出射側偏光子透過軸、25 上側基板側配向方向、26 反射板側配向方向、100、101 液晶セル、111 透過型液晶ディスプレイ、112 反射型液晶ディスプレイ、113 反射型カラー液晶ディスプレイ。

【書類名】 図面

【図 1】

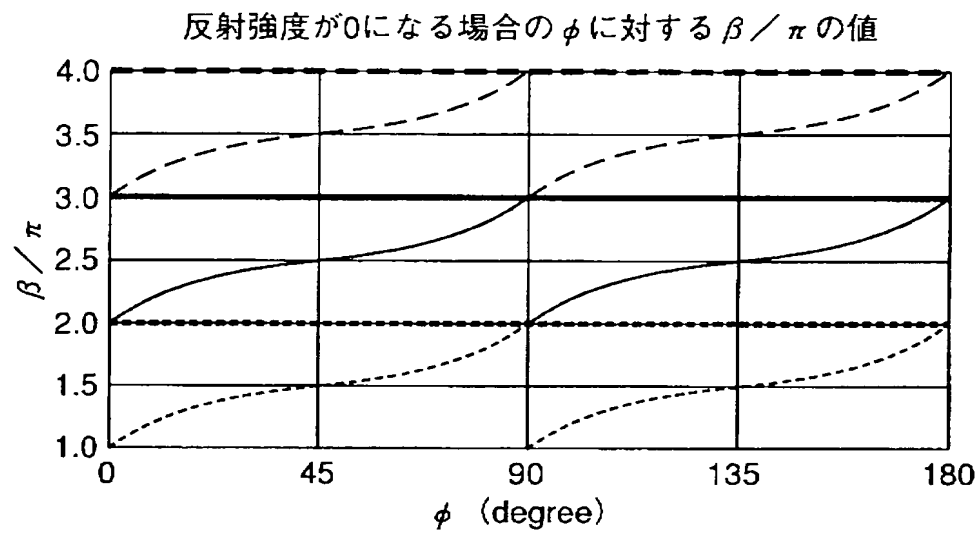


【図 2】

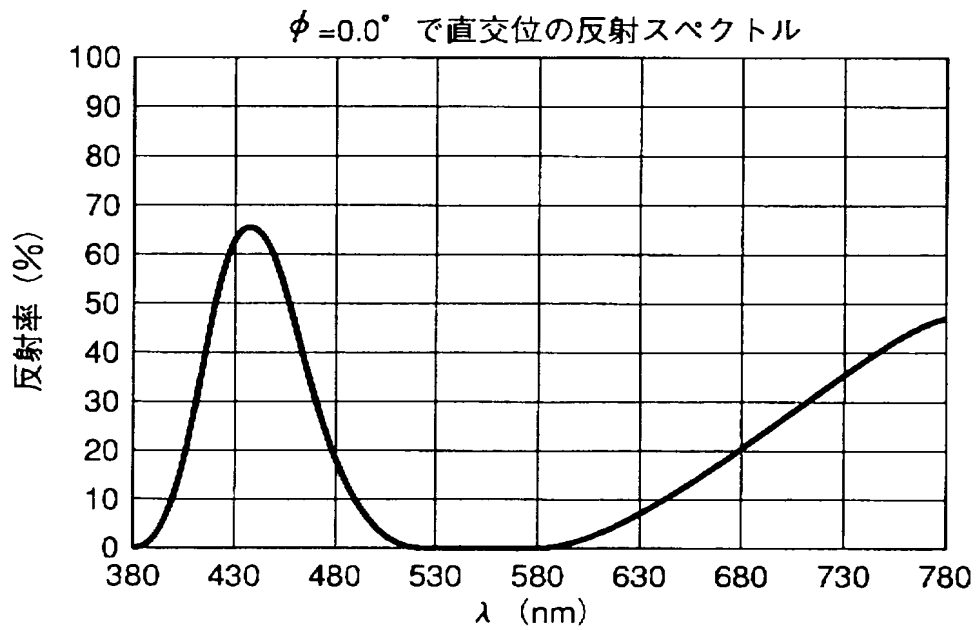




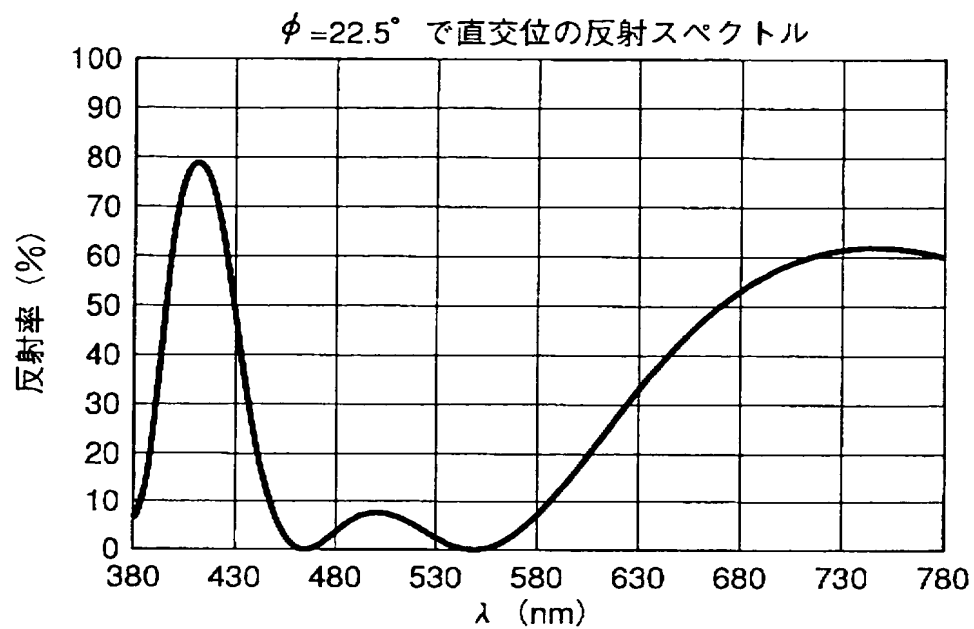
【図 3】



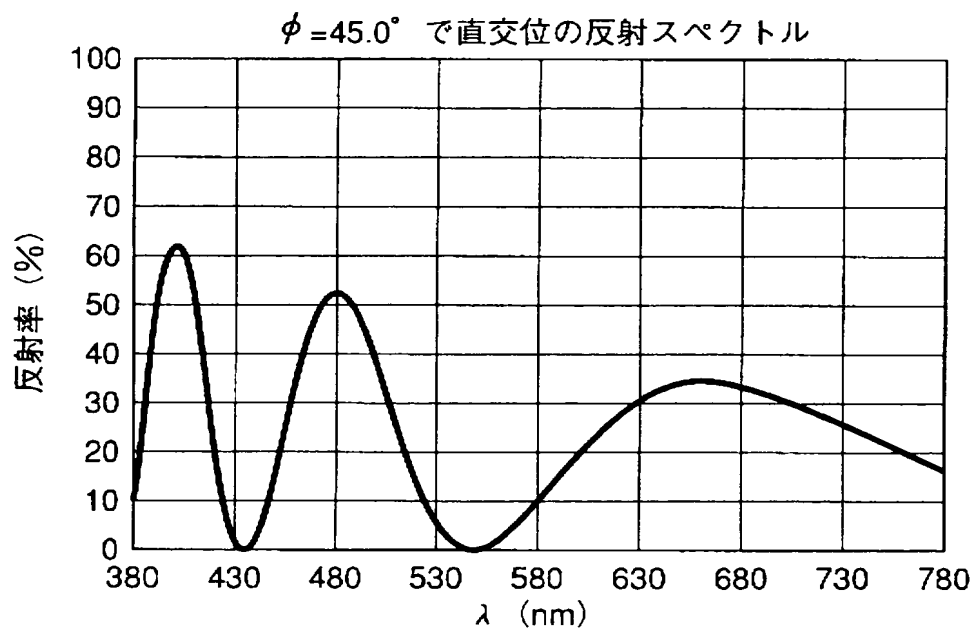
【図 4】



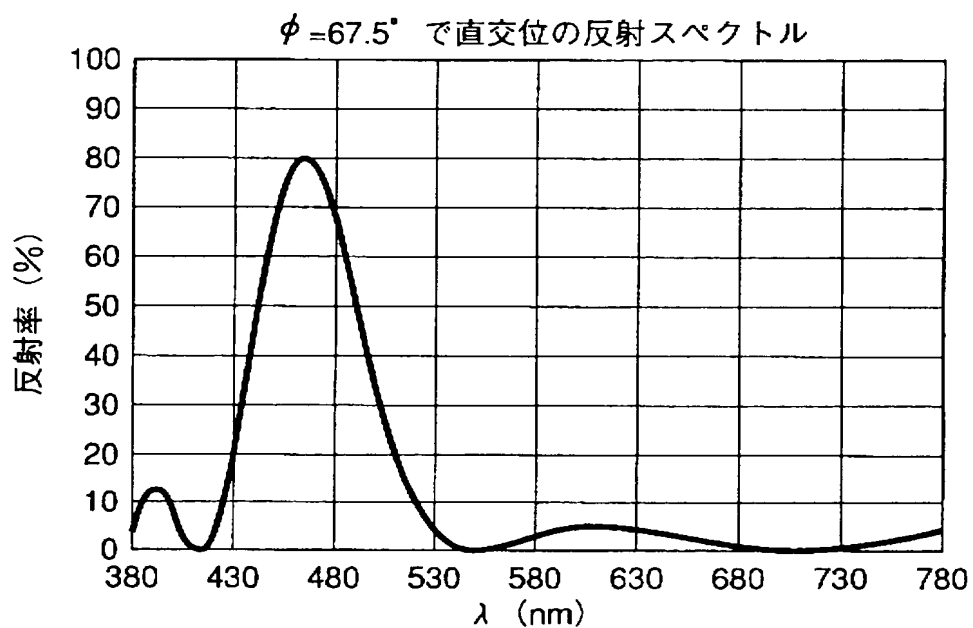
【図 5】



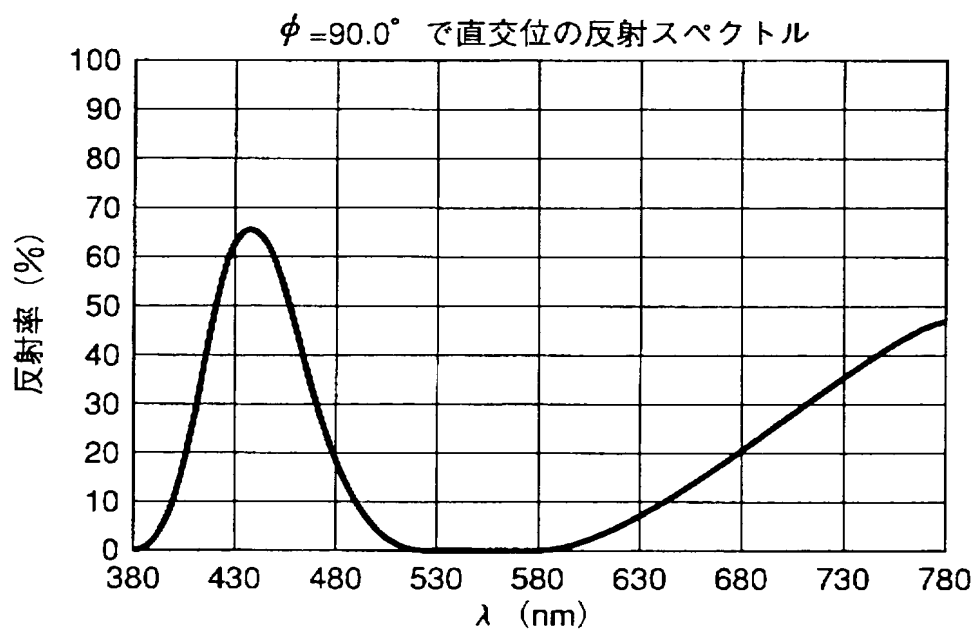
【図 6】



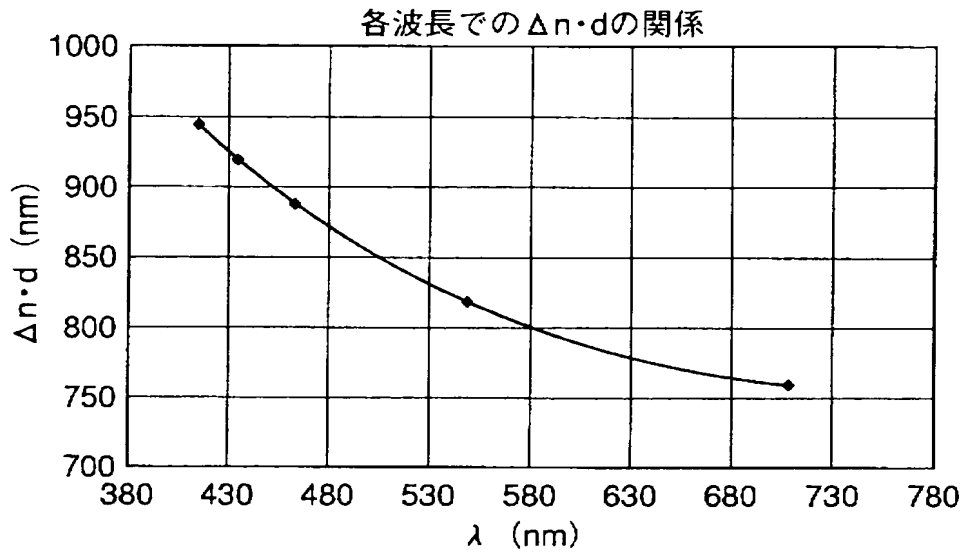
【図 7】



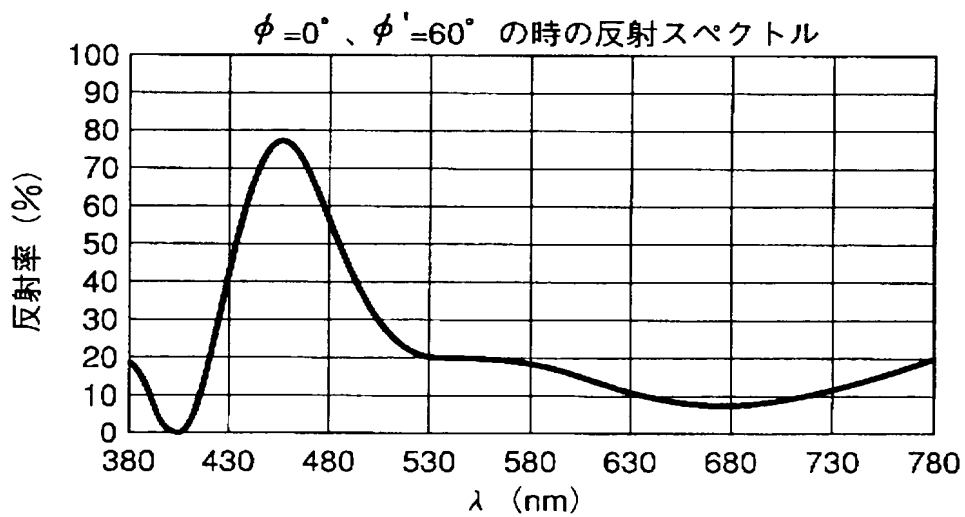
【図 8】



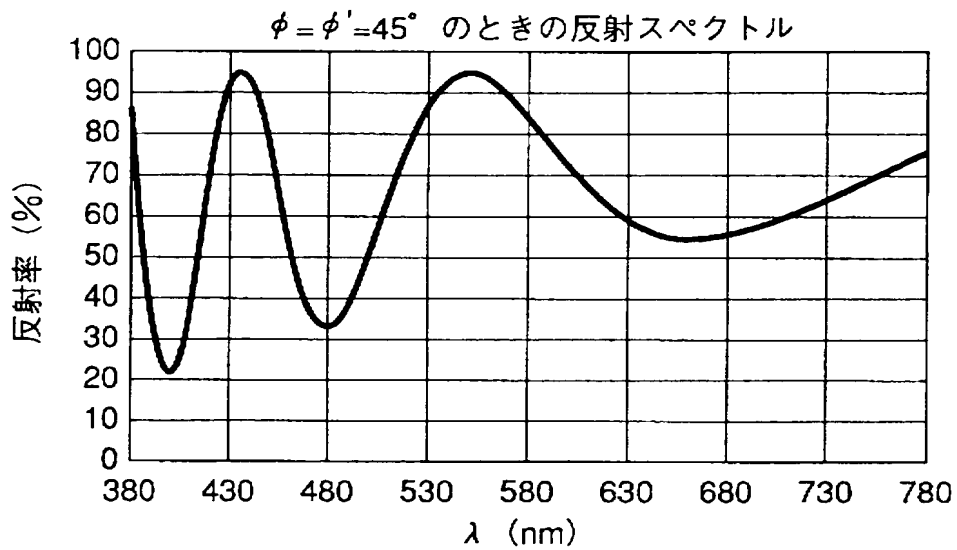
【図 9】



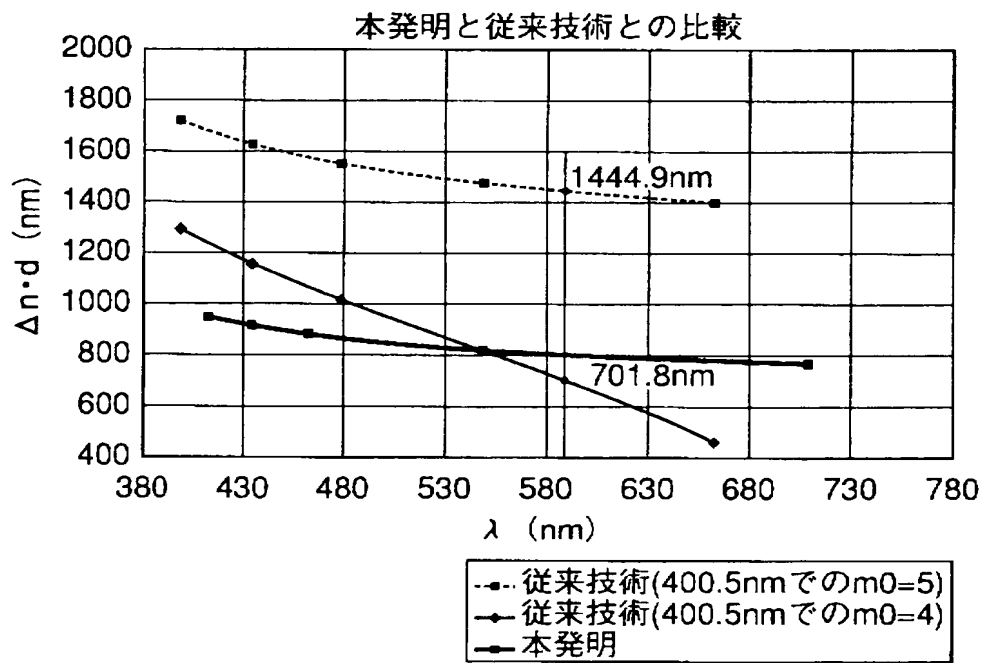
【図 1 0】



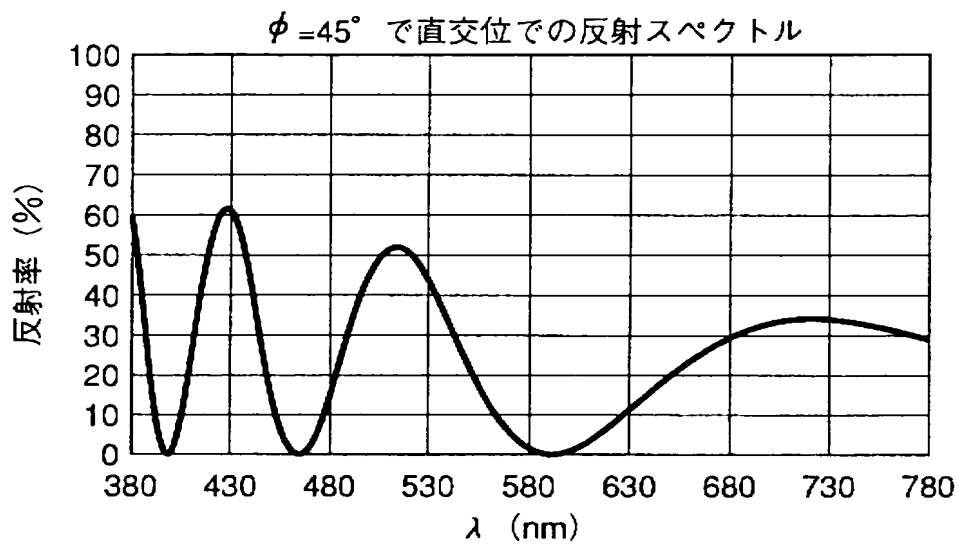
【図 1 1】



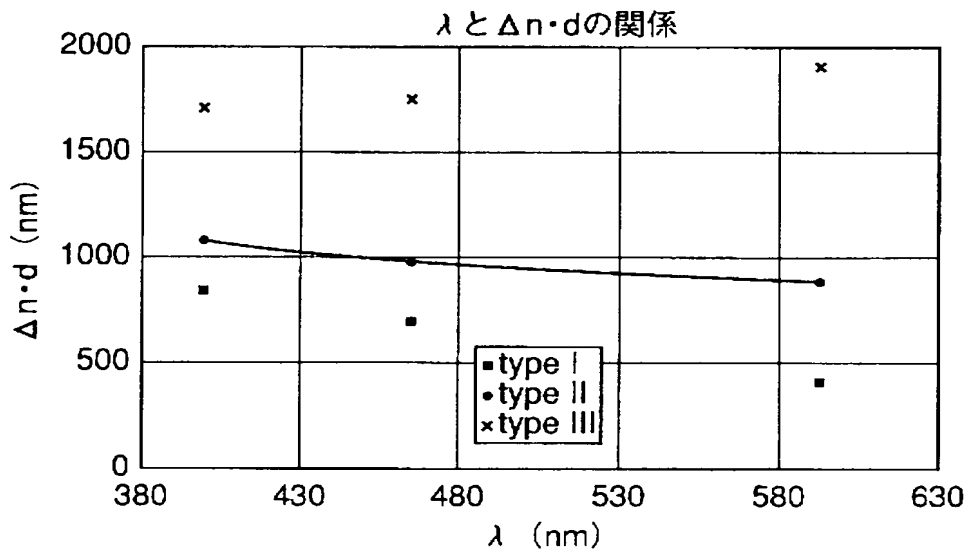
【図 1 2】



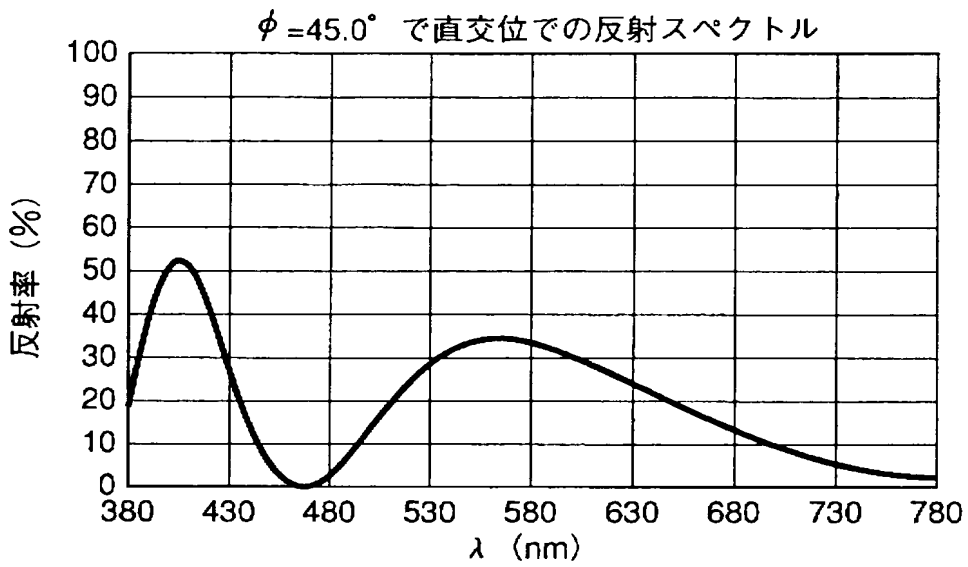
【図 1 3】



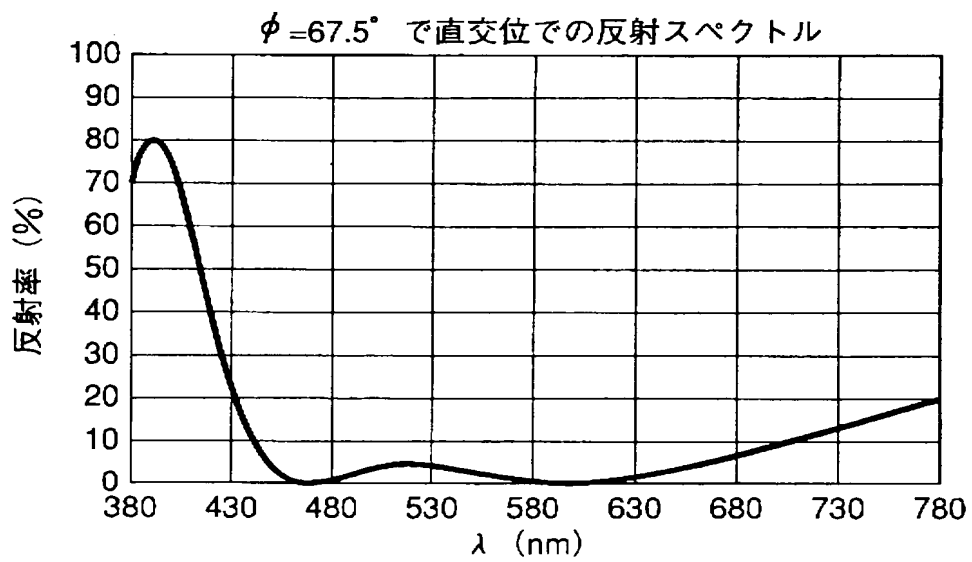
【図 1 4】



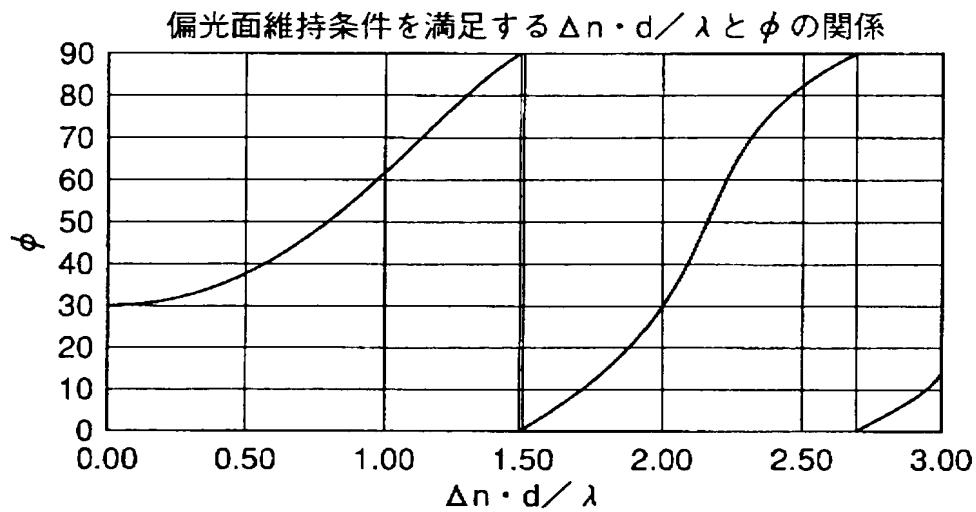
【図 1 5】



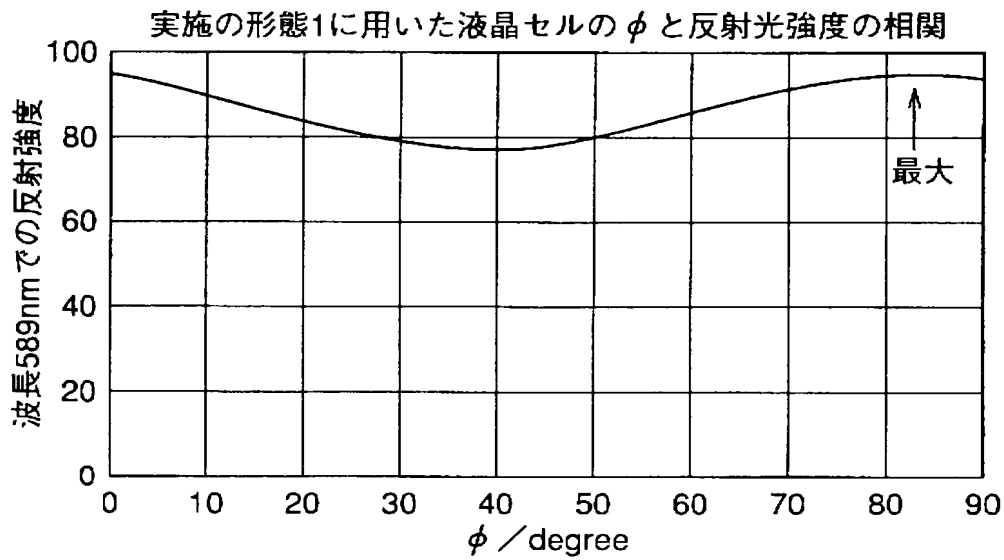
【図 1 6】



【図 1 7】

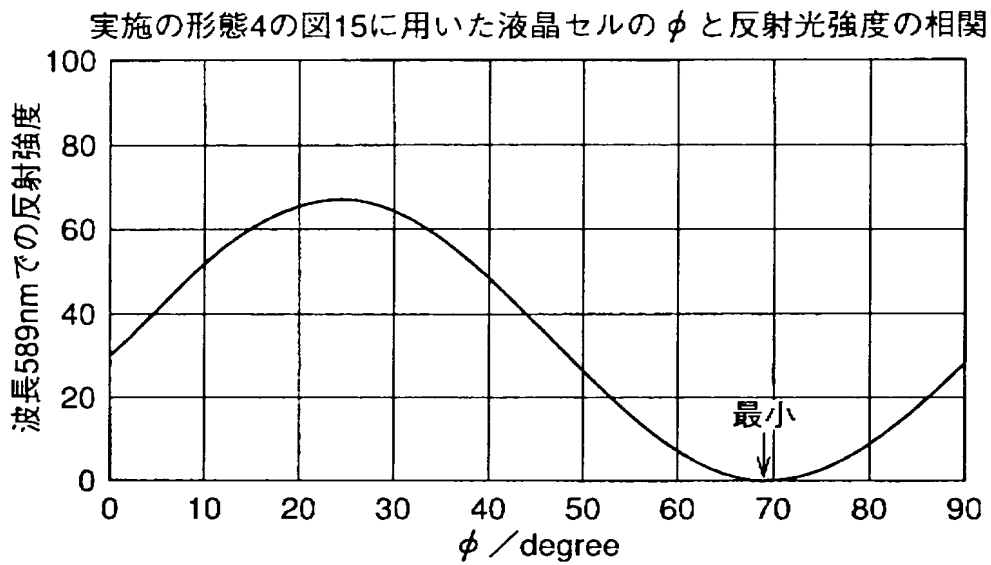


【図 1 8】

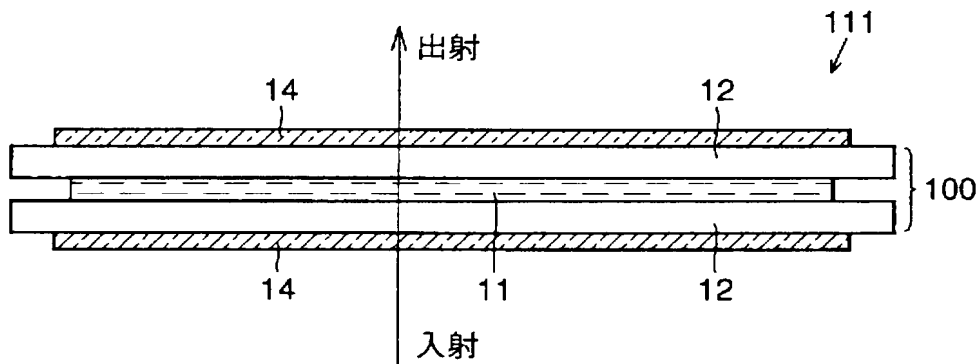




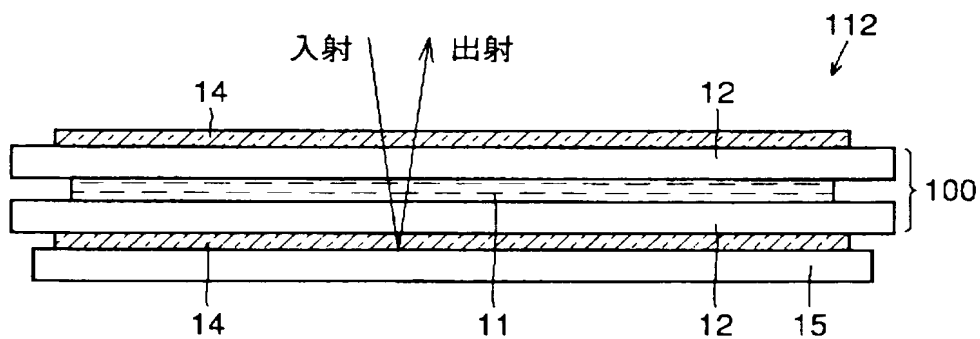
【図 1 9】



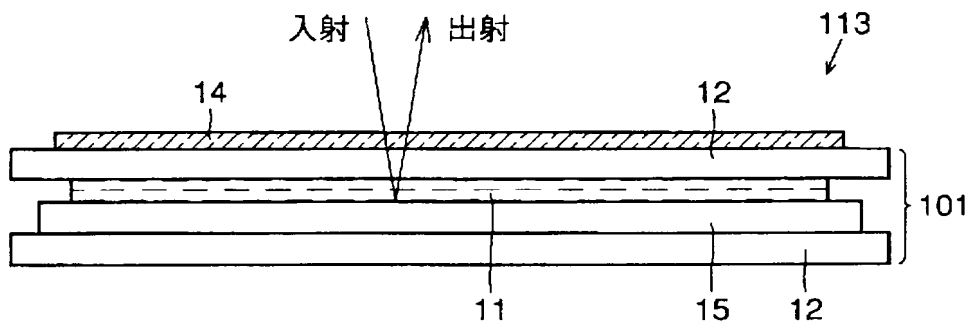
【図 2 0】



【図 2 1】



【図 2 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 反射光を用いて、液晶層などのように厚み方向に均質な複屈折率  $\Delta n$  を有する複屈折体の厚みを測定できる方法および装置を提供する。

【解決手段】 液晶層 11 の厚み  $d$  を測定するために、光源 1 からの光を入射側偏光子 2 を介して液晶層 11 に入射させ、反射板 15 で反射した光を、出射側偏光子 3 を介して分光器 4 で受光し、スペクトル分解する。反射光のうちの常光線と異常光線との光路長差が、波長の整数倍と半波長との和、または、波長の整数倍であるという偏光面維持条件を満たすときに、上記反射光が、上記入射の際の偏光面と同じ偏光面を維持して戻ってくる性質を利用して、偏光面が維持される条件を満たす波長を求める。ここから妥当な  $\Delta n \cdot d$  を求める。これを複数の波長について行ない、波長と  $\Delta n \cdot d$  との関係式を求める。この関係式に波長  $\lambda$  と  $\Delta n$  との既知の組合せをあてはめて  $d$  を求める。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 5 0 4 9 ]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 9 日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号
氏 名	シャープ株式会社